

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra aplikované mechaniky

Statický výpočet přemístitelné čerpací stanice

Statical Calculation of Relocatable Petrol Station

Student:

Jaroslav Helštýn

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.

Datum a místo odevzdání:

16. květen 2016, Ostrava

Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Helštýn**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika
Téma: **Statický výpočet přemístitelné čerpací stanice**
Statical Calculation of Relocatable Petrol Station
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte přehled typů přemístitelných čerpacích stanic z portfolia zadavatele.
2. Diskutujte možná mechanická namáhání vybraného typu čerpací stanice v rámci jejího nasazení v provozu (např. zatížení při transportu, zatížení palivem, apod.).
3. Vytvořte vhodné geometrické modely vybraného typu čerpací stanice s ohledem na její pevnostní kontrolu metodou konečných prvků v zátěžných stavech definovaných v bodu 2.
4. Metodou konečných prvků proveďte pevnostní kontrolu vybraného typu čerpací stanice v zátěžných stavech definovaných v bodu 2.
5. V případě nepříznivých výsledků se zamyslete nad možnostmi optimalizace zadané struktury.

Seznam doporučené odborné literatury:

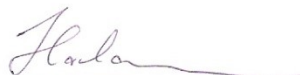
- [1] KOLÁŘ, Vladimír, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *FEM Principy a praxe metody konečných prvků*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1997, 401 s. ISBN 80-722-6021-9.
- [2] COOK, Robert D, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *Finite element modeling for stress analysis*. Vyd. 1. Hong Kong: John Wiley, 1995, 320 s. ISBN 04-711-0774-3.
- [3] *ANSYS® Academic Teaching Advanced, Release 14.5, help system, ANSYS, Inc.*
- [4] Norma ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [5] Norma ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Radim Halama, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem veškeré použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016

.....

podpis autora práce

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16. 5. 2016

.....

podpis autora práce

Jaroslav Helštýn

Matěje Kopeckého 484/13

70800 Ostrava – Poruba

Anotace bakalářské práce

HELŠTÝN, J. *Statický výpočet přemístitelné čerpací stanice – bakalářská práce*. OSTRAVA: Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky 56 s. Vedoucí práce: PORUBA, Z.

Bakalářská práce se zabývá statickým výpočtem přemístitelné čerpací stanice. Největší důraz je kladen na vnitřní opláštění nádrže, dále na frému nádrže a její nejkritičtější místa. V úvodu práce je rozebrána využitelnost typu této čerpací stanice, jeho klady a zápory. Zjednodušená sestava je poté analyzována komerčním výpočetním softwarem ANSYS Workbench 16.0. Výpočet je proveden pro různé zatěžné stavy požadované k výpočtu zadavatelem. Jedná se o stavy, kdy dochází k maximálnímu zatížení soustavy. V závěru práce je navržena úprava kritické geometrie nádrže tak, aby nedošlo k nepřiměřeným deformacím vnitřního opláštění nádrže.

Annotation of thesis

HELŠTÝN, J. *Statical Calculation of Relocatable Petrol Station*. OSTRAVA: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics, 56 p. Thesis head: PORUBA, Z.

The thesis deals statical calculation of relocatable petrol station. The biggest emphasis is placed on the inner casing of the tank, then on frame of the tank and its the most critically strained points. In introduction of thesis is appointed usability of this type of petrol station, its positives and negatives. Simplified assembly is analyzed by commercial software ANSYS Workbench 16.0. Calculation is performed for different loading conditions asked for calculation by owner. This loading conditions include maximal load of assembly. At the end of thesis the critical geometry of tank is adjusted to minimize possible deformation of inner casing of the tank.

Obsah

Úvod.....	10
1. Přehled typů čerpacích stanic	11
1.1 Technická specifikace	11
1.1.1 Provozní nádrž.....	12
1.1.2 Plnění nádrže	12
1.1.3 Výdejní zařízení	13
1.1.4 Měření hladiny kapaliny v nádrži.....	13
1.1.5 Ovládání a kontrola čerpací stanice	14
1.1.6 Způsob napájení stanice	14
1.2 Příslušenství	14
1.2.1 Manipulační plocha	14
1.2.2 Zastřešení	14
1.2.3 Kamerový systém.....	15
1.2.4 Kontrola na dálku	15
1.3 Uvedení do provozu	16
1.4 Bezpečnostní prvky	16
1.4.1 Protipožární ochrana	16
1.4.2 Ropné látky a úkapy	16
1.5 Ochrana okolí čerpací stanice	16
1.6 Zhodnocení.....	17
2. Mechanická namáhání.....	18
2.1 Materiály	18
2.1.1 Konstrukční ocel	18
2.1.2 Motorová nafta	18
2.2 Zátěžné stavy.....	20

2.3 Typy zátěže	23
2.3.1 Vlastní tíha	23
2.3.2 Hydrostatický tlak	23
2.3.3 Tíha sněhu	24
3. Tvorba geometrického modelu a síťování	26
3.1 Tvorba modelu	26
3.2 Tvorba sítě.....	27
3.2.1 Konečnoprvkový model rohového prvku.....	28
3.2.2 Konečnoprvkový model hlavní frémy.....	28
3.2.3 Konečnoprvkový model frémy nádrže.....	30
3.2.4 Konečnoprvkový model vnitřního pláště nádrže	31
3.2.5 Konečnoprvkový model vnitřních výztuh nádrže a vnějšího opláštění	32
3.3 Kontakty a sumarizace	32
4. Pevnostní kontrola.....	34
4.1 Zatěžující síly	34
4.2 Okrajové podmínky.....	34
4.2.1 Okrajové podmínky I. zátěžného stavu	35
4.2.2 Okrajové podmínky II. zátěžného stavu.....	35
4.2.3 Okrajové podmínky III. zátěžného stavu	37
4.2.4 Okrajové podmínky IV. zátěžného stavu	37
4.3 Výsledky analýz	39
4.3.1 I. zátěžný stav	39
4.3.2 II. zátěžný stav.....	40
4.3.3 III. zátěžný stav	44
4.3.4 IV. zátěžný stav	45
4.4 Shrnutí výsledků.....	46
5. Optimalizace.....	48

5.1 Vyztužení	48
5.2 Výsledky po úpravě.....	49
6. Vyhodnocení a závěr.....	52
7. Přehled použité literatury a zdrojů	54
8. Zvláštní přílohy	55

Použitá označení

značení	popis veličiny	jednotka
AVK	automat výdeje kapalin	-
NM	nafta motorová	-
BA	benzín automobilový	-
PHM	Pohonná hmota	-
MKP	Metoda konečných prvků	-
G	Tíhová síla konstrukce	N
R_{z1}	Reakce v prvním dolním rohovém prvku	N
R_{z2}	Reakce v druhém dolním rohovém prvku	N
R_{z3}	Reakce v třetím dolním rohovém prvku	N
R_{z4}	Reakce ve čtvrtém dolním rohovém prvku	N
P_K	Hydrostatický tlak od kapaliny v nádrži	MPa
P_S	Tlak od sněhu	MPa
P_{KZ}	Hydrostatický tlak od zbytku kapaliny v nádrži	MPa
R_{H1}	Reakce v prvním horním rohovém prvku	N
R_{H2}	Reakce v druhém horním rohovém prvku	N
R_{H3}	Reakce v třetím horním rohovém prvku	N
R_{H4}	Reakce ve čtvrtém horním rohovém prvku	N
p_h	Hydrostatický tlak	Pa
h	Hloubka měřeného místa v kapalině	m
ρ	Hustota kapaliny	kg/m ³
g	Tíhové zrychlení	m/s ²
s	Výsledné zatížení sněhem	kPa
s_k	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	kPa
C_e	Součinitel expozice	-
μ_1	Tvarový součinitel zatížení sněhem	-
m_E	Hmotnost elektronického panelu	kg
m_T	Hmotnost technologických prvků	kg
b_m	Součinitel stálého zatížení	-
b_z	Součinitel proměnného (užitného) zatížení	-

Úvod

Už od vzniku prvního automobilu v roce 1866 se zážehovým motorem, který zkonstruoval Nicolaus Otto, bylo potřeba uvažovat nad otázkou rychlého a efektivního doplňování paliv do nádrží automobilů při jejich provozu. Podmínkou bylo rychlé a bezpečné doplnění paliva kdykoliv a kdekoliv bylo na cestě třeba. Výsledkem byl vznik čerpacích stanic, které tyto dvě hlavní podmínky splňovaly.



Ilustrační obrázek – Stará čerpací stanice

Postupem času došlo k takovému zdokonalení čerpacích stanic, kde řidič nemusí vystoupit z auta a palivo je mu doplněno automaticky obsluhou čerpací stanice. Řidič provede jen platbu skrze stažené okénko svého automobilu.

Firma PETROCard Czech povyšuje tento nápad na další úroveň. Koncept samoobslužné čerpací stanice nemá ve světě obdoby, proto se jedná o unikátní český patent. Samoobslužná čerpací stanice, nebo také automat výdeje kapalin, je klasifikován jako výrobek, nejedná se tedy o stavbu jako takovou.

Předmětem bakalářské práce je statický výpočet a posudek celkové konstrukce čerpací stanice. Při výpočtu je kladen důraz na nádrž, která slouží k uchovávání pohonných hmot (automobilového benzínu nebo motorové nafty).

1. Přehled typů čerpacích stanic

1.1 Technická specifikace

Automat výdeje kapalin je moderní zařízení pro výdej pohonných hmot a jiných kapalin. Dle celního zařídění se nejedná o čerpací stanici, nýbrž o samostatné čerpadlo. Stanice je tvořena speciální kontejnerem, který zajišťuje strukturální integritu důležitou k transportu. Kompletní celek se skládá z několika důležitých součástí zajišťujících jeho bezpečný provoz. Každá součást zastává v celku vlastní nedílnou funkci, bez které by byla čerpací stanice nefunkční. Jedná se o provozní nádrž, ve které se uchovává pohonná hmota (motorová nafta – NM, nebo automobilový benzín – BA), dále o hydraulickou jednotku plnění, která zastává funkci doplňování nádrže pohonnou hmotou, výdejní zařízení, přes které zákazník odebírá pohonnou hmotu, dále řídicí a přenosovou jednotku, která obsahuje speciální elektronický systém zajišťující bezpečný chod celé čerpací stanice. V neposlední řadě obsahuje stanice platební terminál, přes který probíhají finanční transakce mezi uživatelem a majitelem stanice.



Obr. 1.1 – Ilustrační model automatu výdeje kapalin

Firma PETROCard Czech zajišťuje výrobu automatů výdeje kapalin v různých provedeních dle požadavků zákazníka. Jedná se například o modifikaci velikosti nádrže, velikosti průtoku pohonných hmot čerpadlem, způsob odběru pohonných hmot,

nebo uzpůsobení konstrukce a funkčnosti čerpací stanice vycházejícího z místa určení jejího výskytu vzhledem k okolním podmínkám prostředí.

1.1.1 Provozní nádrž

Kontejner čerpací stanice je vyráběn ve třech rozměrových a pěti objemových variantách. Provozní nádrž pohonných hmot je nezbytnou součástí konstrukce čerpací stanice. Výrobce nabízí dva typy provozních nádrží s možností přerozdělení nádrže samotné na dva bloky, díky čemuž lze čerpat dva druhy kapaliny z jednoho výdejšího automatu.

První, vestavěný typ nádrže, je dvouplášťová nádrž s pohonnou hmotou vložena do speciálního kontejneru s instalovaným elektronickým panelem. Mezi stěnou kontejneru a provozní nádrží vzniká manipulační prostor, který umožňuje vizuální kontrolu a bezpečný provoz stanice.

Druhý typ, integrální, je nedílnou součástí čerpací stanice. Místně je přidán třetí plášť. Tento typ nádrže umožňuje dosáhnout větších objemů nádrže při zachování bezpečnosti provozu. Rozměry základních variant čerpací stanice jsou uvedeny v *Tabulce 1.1.1.*

<i>Typ</i>	<i>Provozní objem (l)</i>	<i>ISO</i>	<i>Rozměry (mm)</i>	<i>Rychlost výdeje (l/min)</i>
AVK 5	5200	1D	2991 x 2438 x 2438	40-80
AVK 9	9000			
AVK 10	9975	1CC	6058 x 2438 x 2591	40-120
AVK 21	21830			
AVK 36	36100	1BB	9125 x 2438 x 2591	

Tab. 1.1.1. – Rozměry základních variant čerpací stanice

1.1.2 Plnění nádrže

Hydraulická jednotka plnění slouží k doplňování kapalin do nádrží. Výrobce uvádí maximální průtok 500 l/min. Při doplňování benzínu do nádrže je čerpadlo doplněno o ventil sloužící k rekuperaci benzínových par, aby nedošlo k nepřiměřenému přetlakování nádrže. Připojovací hrdla jsou rovněž vybavena zpětnou klapkou, která společně se sacími čerpadly zabraňuje úkapu pohonných hmot při ukončení doplňování nádrže.

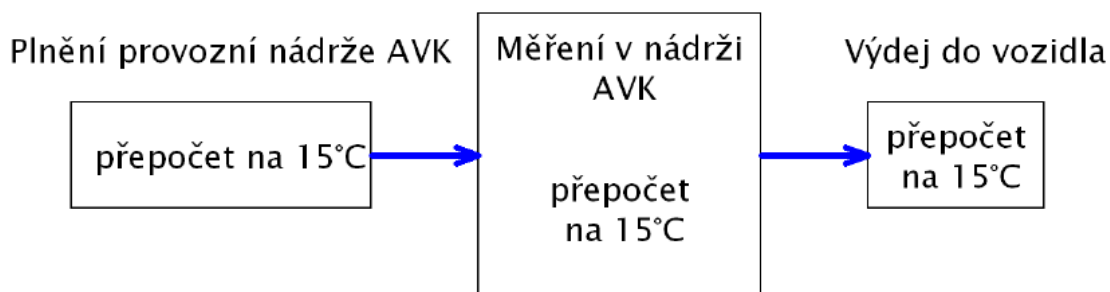
1.1.3 Výdejní zařízení

Výdejní zařízení sloužící k výdeji pohonných hmot je uloženo uvnitř kontejneru. Výrobce uvádí možnost rozšíření oboustranného výdeje, tedy benzínu i motorové nafty. Ke kontrole slouží certifikované zařízení, které přepočítává vydaný objem pohonných hmot na referenční teplotu 15 °C. Je tak zajištěna maximální kontrola objemu pohonných hmot v nádrži.

1.1.4 Měření hladiny kapaliny v nádrži

K měření aktuální hladiny kapaliny v nádrži slouží měřicí zařízení snímající výšku hladiny. Jedná se o jednoduchý plovákový ovladač fungující na principu snímání vzdálenosti plováku na vodící kolejnici od měřicího zařízení. Mechanismus je speciálně určen pro použití v prostředích, kde hrozí výbuch, a v nádržích s pohonnými látkami. Jednoduchá konstrukce zajišťuje bezporuchový provoz a dlouhou životnost. Ovladač lze naistalovat a nastavit tak, aby signalizoval maximální, minimální a havarijní objem kapaliny v nádrži.

Aktuální objem paliva je přepočítávám na referenční hodnotu 15°C, protože v nádrži a v kapalině dochází ke změnám teplot vlivem vnějšího prostředí (roční období, okolní prostředí). Kvůli tepelné roztažnosti látek dochází v závislosti na změně teploty ke změně objemu kapaliny. Proto výrobce zavedl trojí kontrolu objemu kapaliny v nádrži, při příjmu (doplňování kapaliny do nádrže), čerpání (výdeji kapaliny z nádrže) a kontrolu zůstatku v nádrži. Kontrola probíhá v pravidelných časových intervalech. Schéma kontroly nádrže je zobrazeno na *Obr. 1.1.4*.



Obr. 1.1.4. – Schéma kontroly hladiny kapaliny v nádrži

1.1.5 Ovládání a kontrola čerpací stanice

Ke vzdálené kontrole hladiny nádrže a ovládání čerpací stanice slouží speciální elektronický systém. Zastává funkce jako řízení a výdej pohonných hmot, stáčení pohonných hmot a ochranu proti přeplnění, měření hladiny paliva, spouštění záložního napájecího zdroje v případě výpadku napětí a dalších nezbytných funkcí požadovaných provozovatelem čerpací stanice.

1.1.6 Způsob napájení stanice

Stanice je napájena z jednofázové sítě 230V/50Hz, což umožňuje nasazení prakticky kdekoli, kde je dostupné připojení k elektrické síti. Stanice je nadále vybavena záložním agregátem, který je automaticky aktivován v případě výpadku elektrické energie. Uživatel se tedy nemusí obávat jakýchkoliv komplikací spojených s odběrem pohonných hmot, proces odběru a placení proběhne standardně. Při obnovení dodávky elektrické energie ze sítě dobije agregát záložní baterii a poté se vypne. Tímto způsobem záložního napájení je dosaženo maximální spolehlivosti provozu. Záložní agregát má vlastní zdroj paliva, který je navíc chráněn automatickým hasicím zařízením.

1.2 Příslušenství

1.2.1 Manipulační plocha

Manipulační plocha slouží k pojezdu a nájezdu vozidel k čerpací stanici. Výrobce uvádí integrovanou čističku úkapů pohonných hmot, což vyhovuje požadavkům normy ČSN 65 0202 – *Hořlavé kapaliny. Plnění a stáčení výdejní čerpací stanice*.

Stavební podloží v případě montované manipulační plochy není nutné dále upravovat a je možno ho demontovat a přesunout na nové místo.

Druhou variantou je stavební řešení, kdy je plocha nadále nepřemístitelná. V obou případech je možné využití filtrů úkapů pohonných hmot, nebo klasického řešení pomocí vyspádované plochy s odtokovým kanálem do záchytné jímky.

1.2.2 Zastřešení

Zastřešení slouží k zakrytí stáčecího místa, zajišťující tepelnou ochranu před slunečním zářením (redukce vzniku výbušných par v nádrži) a zabraňuje dopadu ultrafialového záření. Zároveň také zabraňuje vzniku srážkových vod v prostoru

manipulační plochy. Únosnost zastřešení umožňuje montáž atiky nebo LED obrazovek pro reklamní účely.

1.2.3 Kamerový systém

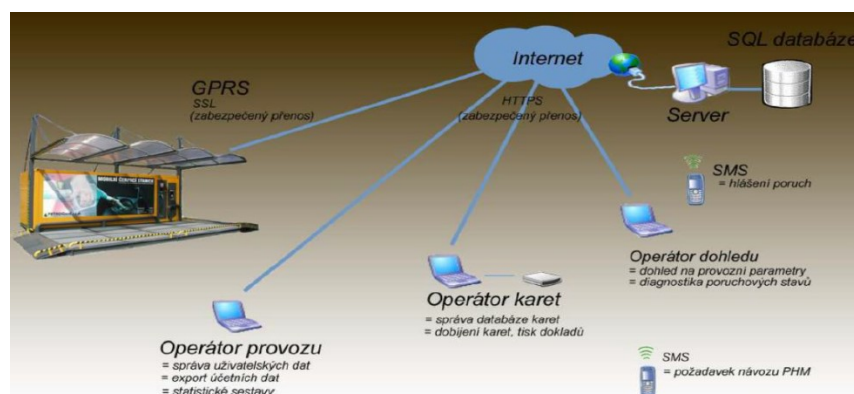
Čerpací stanice je doplněna o kamerový systém sloužící k zabezpečení provozu stanice. Záznam z kamer je přímo uložen v záznamovém archívu čerpací stanice. Při dostatečném datovém průchodu umožňuje instalace online přenos.

1.2.4 Kontrola na dálku

K bezpečnému provozu stanice na dálku slouží systém dohledu, který se nadále dělí podle využití stanice, a to na veřejný a neveřejný provoz.

Systém evidence zabezpečuje správu výdeje pohonných hmot a jejich evidenci. Lze ho aplikovat jak na neveřejné čerpací stanice, kdy je použita lokální karta, tak také u veřejných, kdy je evidence doplněna o možnost bankovních transakcí. Další nabízené možnosti systému jsou například zavádění nových zákazníků (lokálních karet), nastavení limitů karet, vytváření podkladů k faktuře, změnu ceny pohonných hmot dle aktuální cenové nabídky na trhu, kontrola zůstatku v nádržích, evidence doplňování pohonných hmot a další dle požadavků zákazníka.

Další nezbytnou službu, kterou systém evidence vykonává, je monitoring konstrukčních a technologických prvků čerpací stanice, jako například kontrola těsnosti nádrže, překročení meze výbušnosti kontrolou koncentrace benzinových par, překročení maximální hladiny nádrže při doplňování pohonných hmot, stav platebního terminálu, kontrola integrity mezipláště nádrže, nebo výpadek jističe. Celkové schéma systému přenosu informací mezi operátory a stanicí je zobrazeno na Obr. 1.2.4.



Obr. 1.2.4. – Schéma systému přenosu informací mezi operátory a stanicí

1.3 Uvedení do provozu

Využití čerpací stanice zaujímá širokou paletu možností. Například v oblastech s nízkou hustotou čerpacích stanic nebo s nízkou dopravní aktivitou, pro letiště a vnitropodnikové zásobování firmy, železniční provoz, při řešení krizových situací způsobených živelnou pohromou, nebo pro zásobení bezpečnostních složek.

Využití čerpací stanice se dále dělí na veřejný a neveřejný provoz, kdy dochází k určitým změnám v provozu stanice.

Při veřejném provozu je stanice doplněna o bankovní terminál umožňující bezhotovostní placení kartou nebo placení v hotovosti.

Při neveřejném provozu, například vnitropodnikovém, odpadá nutnost instalace bankovního terminálu a k spuštění čerpání pohonných hmot slouží lokální magnetická karta.

1.4 Bezpečnostní prvky

1.4.1 Protipožární ochrana

Čerpací stanice je vybavena samočinným hasícím systémem FIRE Jack, který okamžitě detekuje jakékoliv známky vzniku požáru uvnitř čerpací stanice, iniciace spuštění je způsobena zvýšenou teplotou. Hasící systém pracuje v zcela nezávislém režimu a není ovlivnitelný výpadkem elektrického proudu.

Stanice je dále vybavena ventilačním systémem, který udržuje teplotní podmínky v oblasti elektroniky a hydrauliky z důvodu možného ovlivnění změnami klimatických jevů.

1.4.2 Ropné látky a úkapy

Při čerpání PHM může dojít ke vzniku úkapů v důsledku nepozornosti nebo nedbalosti. K jejich zachytu slouží manipulační plocha, ve které je instalovaná filtrační aparatura. Jedná se o dvoustupňové filtry s vysokou afinitou na ropné látky. Při snížené účinnosti, nebo vypršení trvanlivosti, dochází k okamžité výměně.

1.5 Ochrana okolí čerpací stanice

K bezproblémovému provozu stanice patří i ochrana okolí. Jedná se například o kontrolu integrity nádrže, zda nedochází k úniku kapaliny. Při možném problému

je stanice okamžitě odstavena z provozu a je poslána informace do řídicího střediska o poruše.

Koncept čerpací stanice je konstruován s důrazem na maximální ochranu životního prostředí a provozní bezpečnosti. V konečném důsledku se tedy nejedná o stavbu jako takovou, ale o výrobek kdekoliv umístitelný.

Vliv výrobku na okolní prostředí je tedy zcela minimalizován, není zde požadavek na trvalý zábor zemědělské půdy, nulový nárok na vodní zdroj nebo zásobování vodou, vliv na okolní vodní zdroje je minimální. Odsávání par je zajištěno dvoustupňovou rekuperací, je tedy zabráněno úniku par do ovzduší. Výrobek také nemá žádný vliv na krajinu ani na architektonické nebo archeologické oblasti. Konstrukce umožňuje mnoho variant povrchové úpravy.

1.6 Zhodnocení

V konceptu přemístitelné čerpací stanice lze najít mnoho kladných předností v porovnání se standartní čerpací stanicí. Jedna z největších předností je například bezúdržbový provoz. K provozu stanice není potřeba obsluhy. Odpadá tedy nutnost instalace vodní přípojky nebo hygienického zázemí. Jelikož se nejedná o stavbu, ale o přemístitelný výrobek, není zde kladen nárok na půdní zábor. Instalace výrobku je také rychlá, bez větších komplikací zahrnující jednoduchou přemístitelnost. Po finanční stránce se jedná o nízkonákladový výrobek s rychlou návratností investice.

2. Mechanická namáhání

Po diskuzi se zadavatelem bakalářské práce a podrobném studiu jak vytvořeného počítačového modelu, tak modelu čerpací stanice ve skutečné velikosti, došlo k dohodě pro vytvoření čtyř zátěžných stavů. V každém ze stavů jsou definované jiné okrajové podmínky odpovídající mechanickému namáhání pro různé stavy zatěžování. Stavy pro kontrolu pomocí MKP byly zvoleny na základě empirických zkušeností a obavy z možného porušení statické celistvosti konstrukce.

2.1 Materiály

V konstrukci modelu pro výpočet namáhání a deformací je užito několika nezbytných materiálu. Jedná se o konstrukční materiál určený zadavatelem, a dále o skladovaný materiál v nádržích, motorovou naftu a automobilový benzín. Jejich charakteristické vlastnosti byly zahrnuty do výpočtu.

2.1.1 Konstrukční ocel

Ke konstrukci stanice je použito konstrukční oceli S235. Její mechanické vlastnosti jsou zmíněny v *Tabulce 2.1.1*.

Přehled vlastností oceli S235JR							1.0038	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel							
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005							
Drívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN							
Chemické složení v % hmot. (rozběr tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
Složení hotového výrobku	≤16	>16≤40	>40 ¹⁾	1,40	-	0,035	0,035	0,012
	0,17	0,17	0,20	1,50	-	0,045	0,045	0,014
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250
	235	225	215	215	215	195	185	175
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≥ 3≤ 100			>100≤150		>150≤ 250		
	360-510			350-500		340-490		
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ²⁾ :							
	> 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	26	25		24		22		21
	Minimální nárazová práce KV (J) při 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : ^{4), 5)}							
≤150				>150≤250				
27 ⁴⁾				27 ⁴⁾				
Maximální hodnota CEV ³⁾	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
	0,35		0,35		0,38		0,40	

Tab. 2.1.1 – Mechanické vlastnosti oceli S235

2.1.2 Motorová nafta

Jednou z možných náplní nádrže je motorová nafta. Jedná se o směs kapalných uhlovodíků, která se získává destilací a rafinací ze surové ropy obvykle při teplotách 150 - 370 °C. Vzhled nafty je bezbarvý až nahnědlý. Kvalita nafty je vyjádřena cetanovým

číslem, které také uvádí její vznětovou charakteristiku. Hustota motorové nafty je $0,84 \text{ g/cm}^3$ při 15°C .



Obr. 2.1.2 – Motorová nafta – ilustrační foto

2.1.3 Automobilový benzín

Druhou uvažovanou náplní nádrže je automobilový benzín. Jedná se o směs alifatických uhlovodíků obohacených o isooktan pro zvýšení oktanového čísla. Průměrná hustota automobilového benzínu se pohybuje mezi 72 až $77,5 \text{ g/cm}^3$.

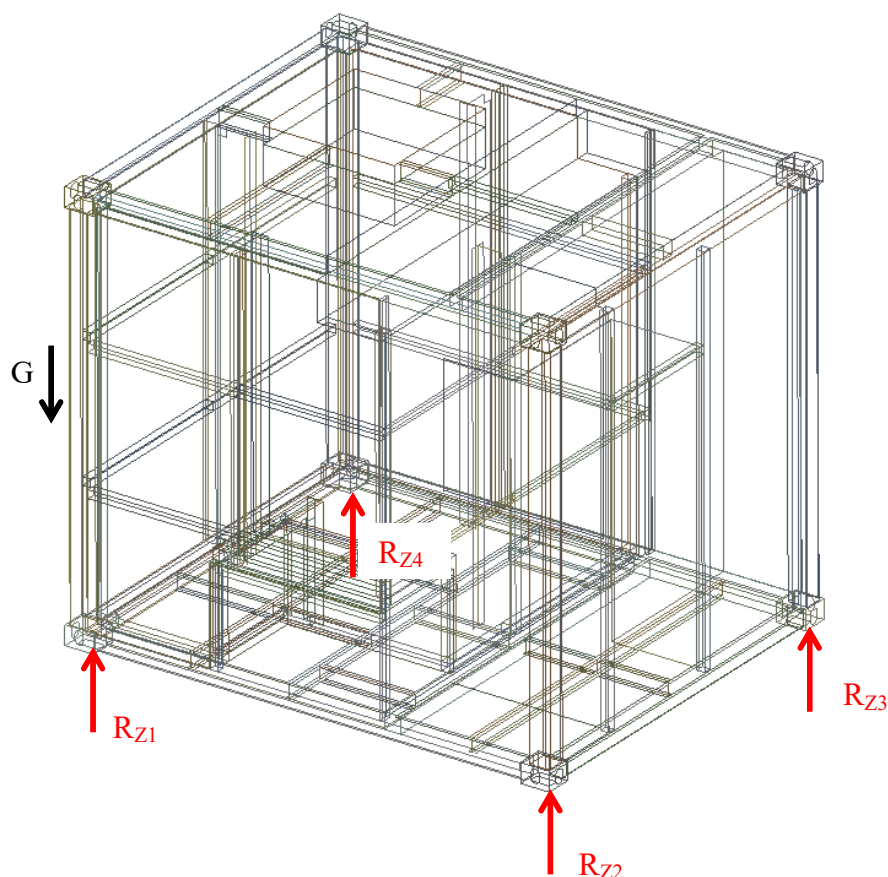


Obr. 2.1.3 – Automobilový benzín – ilustrační foto

2.2 Zátěžné stavy

2.2.1 První zátěžný stav

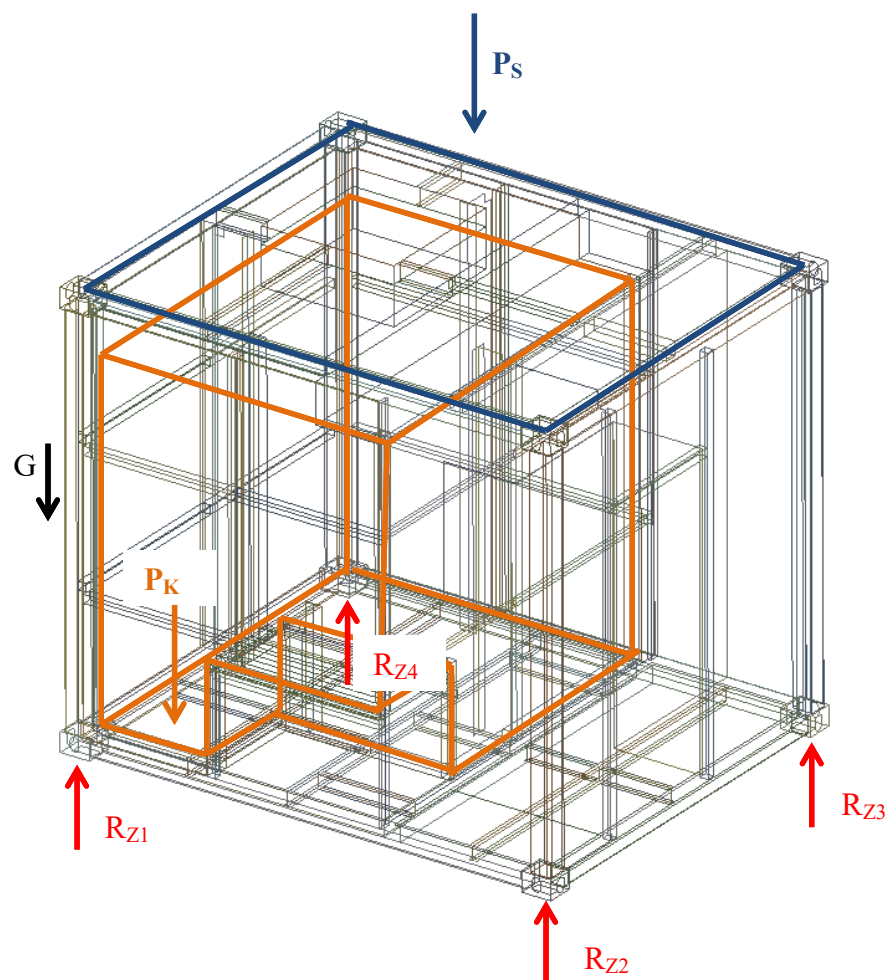
V prvním zátěžném stavu na sestavu nepůsobí žádná vnější zatížení. Konstrukce je namáhána pouze vlastní tíhou. Podpěru tvoří čtyři rohové prvky, které přenášejí sílu tvořenou tíhou konstrukce do základu. V místech dotyku v základu tedy vznikají reakce. Schéma reakcí je popsáno na *Obr. 2.2.1*.



Obr. 2.2.1 – Schéma působících reakcí

2.2.2 Druhý zátěžný stav

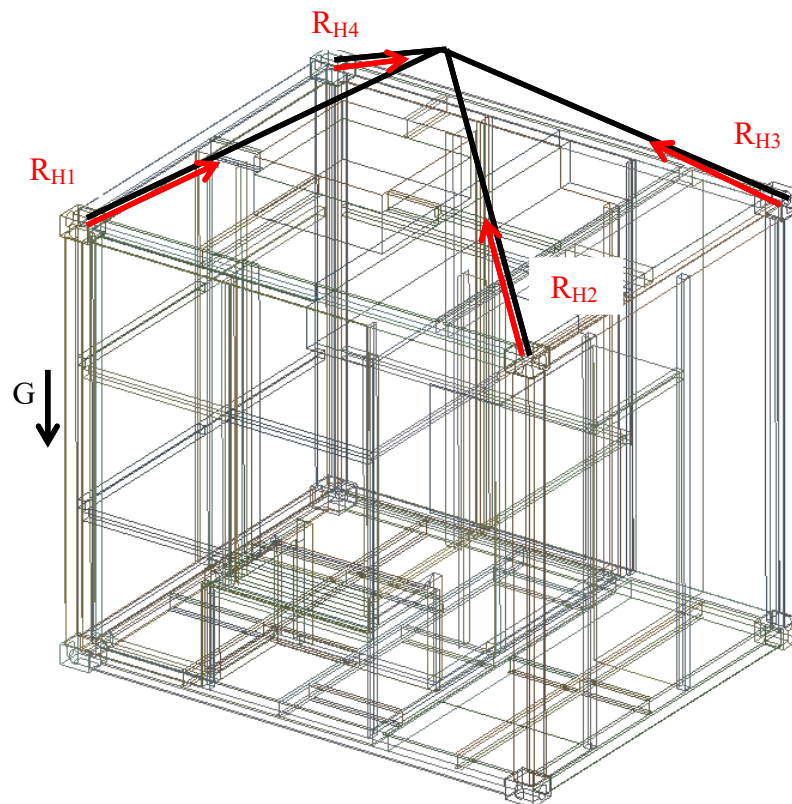
V druhém zátěžném stavu na sestavu působí veškerá maximální pravděpodobná zátěž způsobena vnějším zatížením, předpokládá se tedy výskyt větších deformací a napětí. Jedná se o zatížení vnitřní nádrže tíhou kapaliny uvnitř nádrže a zatížení tíhou sněhu na horní straně stanice. Podpěru opět tvoří čtyři rohové prvky, které přenášejí sílu tvořenou tíhou konstrukce a vnějších zatížení do základu. Schéma reakcí a zátěžných sil je popsáno na *Obr. 2.2.2*.



Obr. 2.2.2 – Schéma působících reakcí a vnějších zátěžných sil

2.2.3 Třetí zátěžný stav

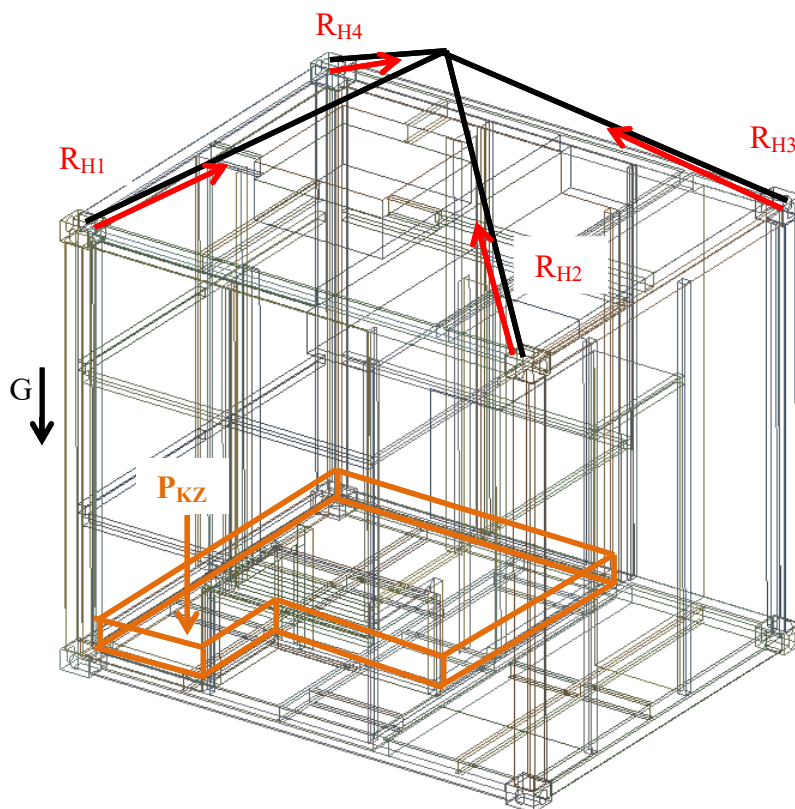
Jako v prvním zátěžném stavu, na konstrukci nepůsobí žádná vnější zatížení. Konstrukce je namáhána pouze vlastní tíhou, není ovšem podepřena na čtyřech dolních rohových prvcích, ale visí upevněná ve čtyřech horních rohových prvcích. Tento zátěžný stav odpovídá přibližně reálnému stavu, kdy je kontejner nakládán jeřábem na transportní zařízení. Schéma reakcí je popsáno na Obr. 2.2.3.



Obr. 2.2.3 – Schéma působících reakcí

2.2.4 Čtvrtý zátěžný stav

V posledním zátěžném stavu je vyšetřena deformace a napětí od zbytkové kapaliny v nádrži ve stavu, kdy stanice visí. Takovýto stav může nastat například při stěhování stanice na nové místo nebo při její reinstalaci. Konstrukce je namáhaná vlastní tíhou a tíhou zbytku kapaliny v nádrži. Výrobce uvádí u tohoto typu výrobku povolený objem kapaliny při převozu maximálně 450 l. Schéma reakcí je popsáno na *Obr. 2.2.4*.



Obr. 2.2.4 - Schéma působících reakcí a vnějších zátěžných sil

2.3 Typy zátěže

2.3.1 Vlastní tíha

Na každou součást konstrukce působí tíhové zrychlení. K výpočtu bylo použito normální tíhové zrychlení $g_n = 9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, které nezávisí na zeměpisné šířce.

2.3.2 Hydrostatický tlak

Vnitřní opláštění nádrže je namáháno hydrostatickým tlakem vzniklým působením tíhového zrychlení na kapalinu v nádrži. Pro manuální kontrolu tlaku byla použita Rovnice 2.3.2.

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g$$

Rovnice 2.3.2 – Výpočet hydrostatického tlaku

Z rovnice vyplývá, že tlak nebude v nádrži všude stejný, ale bude záviset na hloubce měřeného místa.

Do analýzy byla použita hustota motorové nafty z důvodu její větší hustoty, než má automobilový benzín. Bylo tak přikloněno ke stránce větší bezpečnosti.

2.3.3 Tíha sněhu

Tíha sněhu působící na střechu stanice byla určena pomocí normy *ČSN EN 1991-1-3: zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem* vypracovanou Českým hydrometeorologickým ústavem.

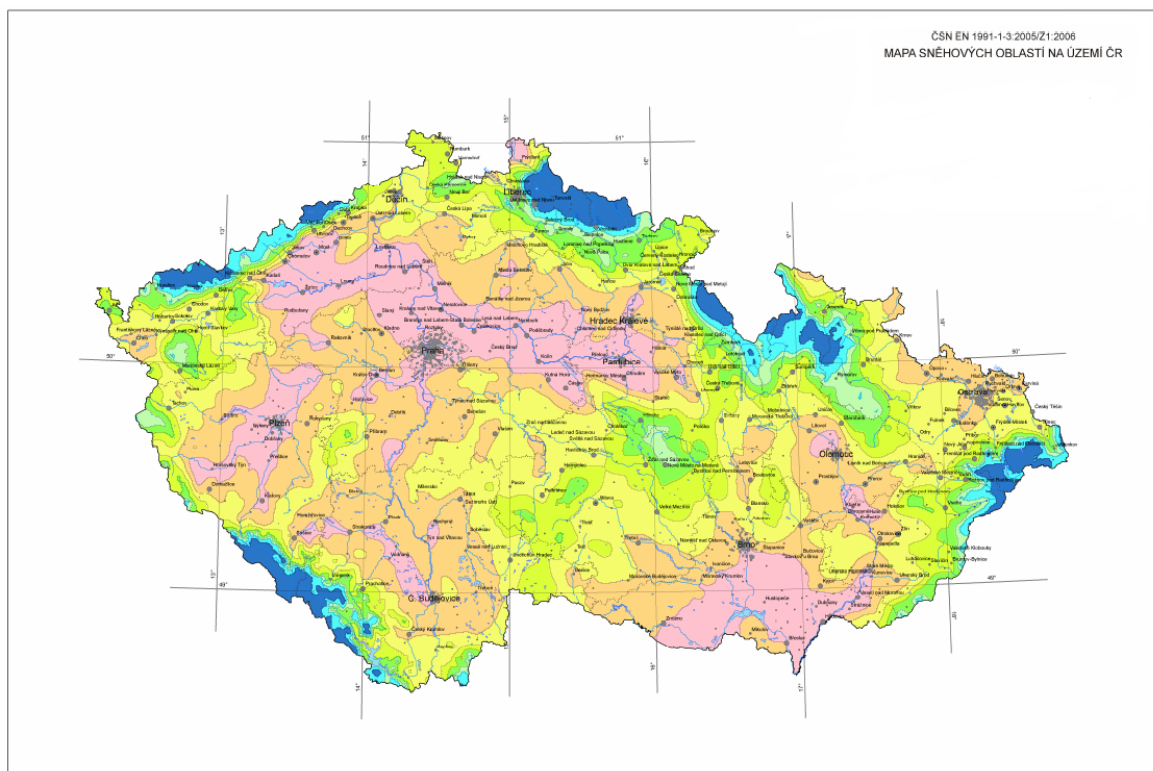
Pro analýzu byla vybrána IV. oblast zatížení sněhem. Druh krajiny byl zvolen jako chráněný z důvodu předpokladu stavby stanice v zastavěné oblasti, také bylo přihlédnuto ke stránce bezpečnosti.

Jelikož se jedná o střechu s nulovým úhlem sklonu, byl tvarový součinitel zvolen z rozmezí $0^\circ - 30^\circ$. Celkový propočet je uveden v rovnici 2.3.3.

$$s = s_k \cdot C_e \cdot \mu_1 = 2 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = \mathbf{1,92 \text{ kPa}}$$

Rovnice 2.3.3 – Výpočet tlaku způsobený sněhovou zátěží

Rozložení sněhových oblastí je znázorněno na *obr. 2.3.3*.



Obr. 2.3.3 – Mapa sněhových oblastí

Charakteristické hodnoty zatížení sněhem jsou znázorněny v *Tabulce 2.3.3*.

ČSN EN 1991-1-3:2005/Z1:2006

MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR

Zatížení sněhem na střechách $s = \mu_i \cdot C_s \cdot C_t \cdot s_k$

Oblast

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	>4,0 ^{*)}

Charakteristická
hodnota s_k [kPa]

*) Charakteristickou hodnotu
určí příslušná pobočka
Českého hydrometeorologického ústavu

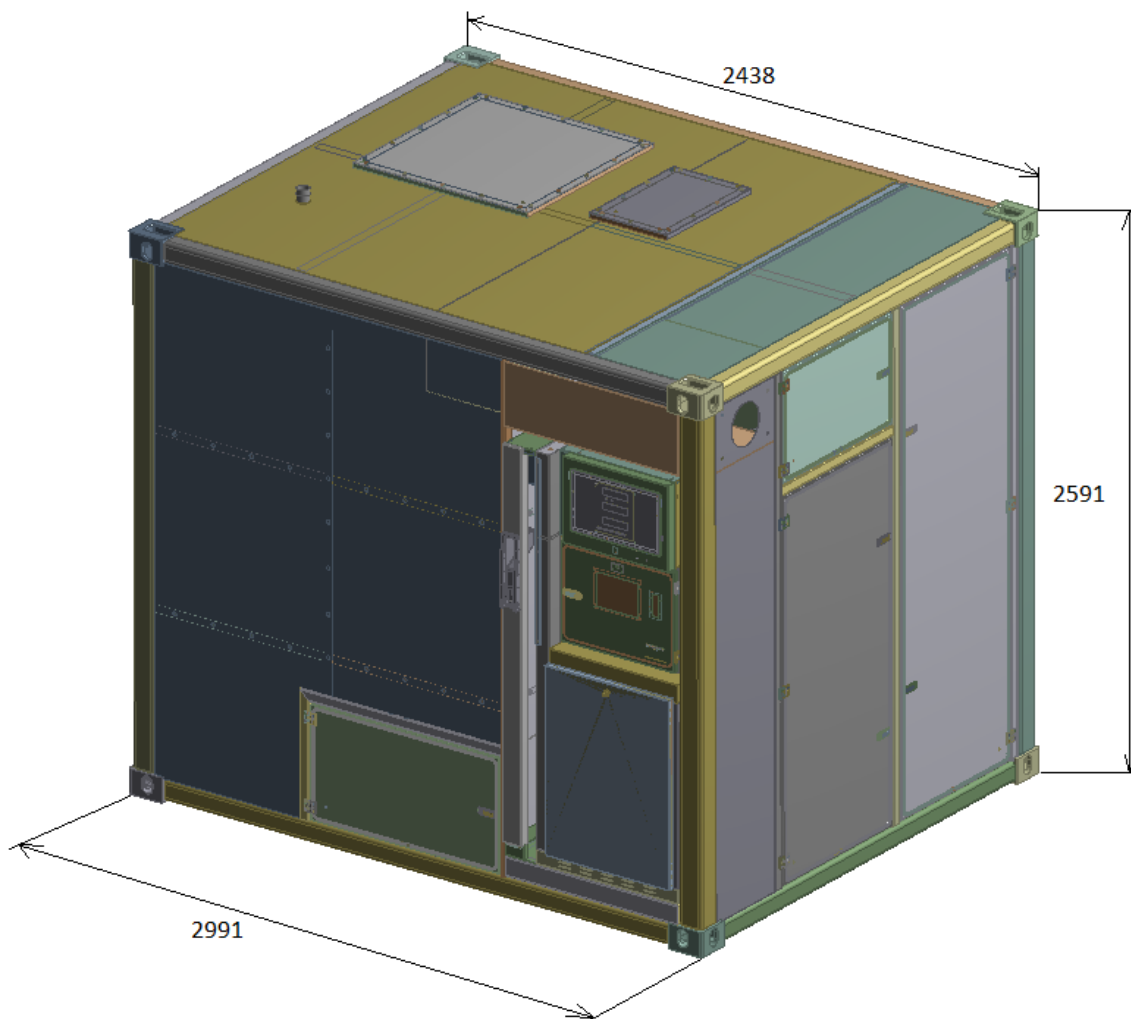
Vypracoval Český hydrometeorologický ústav

Tab. 2.3.3 – Charakteristické hodnoty zatížení sněhem

3. Tvorba geometrického modelu a síťování

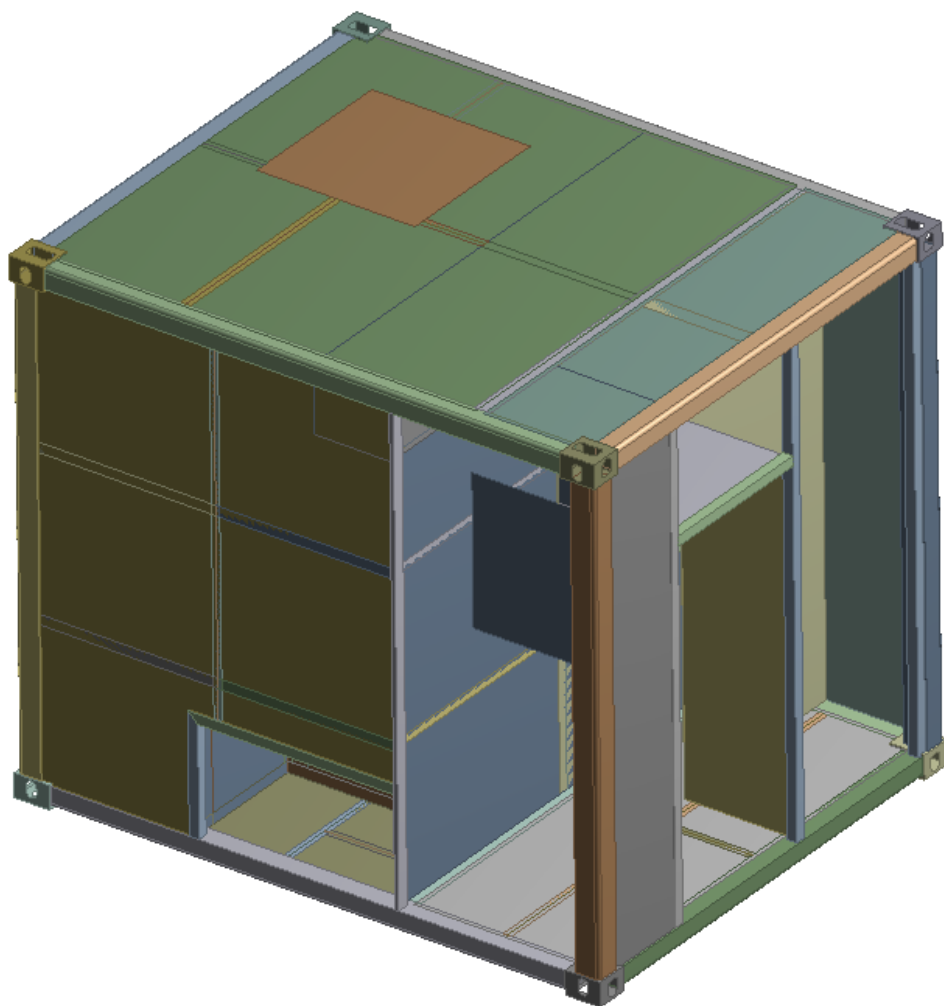
3.1 Tvorba modelu

Pro statickou analýzu pomocí MKP bylo potřeba vytvořit zjednodušený model čerpací stanice. Do modelu byly zahrnuty nejdůležitější součásti, které zajišťují statickou nosnost samotné stanice a které jsou namáhány vnějšími zatíženími. Dodaný model a jeho základní rozměry (v mm) jsou zobrazeny na *Obr. 3.a*.



Obr. 3.a – Originální model čerpací stanice

Při modelování zjednodušeného modelu došlo k odstranění nepotřebných součástí, které by neměly na výsledek analýzy znatelný vliv. Také došlo k technologickým úpravám přemodelovaných součástí. Na rozdíl od originálního modelu, který je tvořen *3D prvky*, je upravený model vytvořen pomocí prvků *Shell*. Výsledek úprav je zobrazen na *Obr.3.b*.



Obr. 3.b – Upravený model pro analýzu

V konečném výsledku došlo k odebrání elektroinstalace, technologických prvků (potrubí, čerpadla, stojanu výdeje kapalin). V analýze byla jejich hmotnost nahrazena prvkem *Distributed mass*. Celková hmotnost konstrukce je 5120 kg. Počet vymodelovaných součástí je 171 kusů.

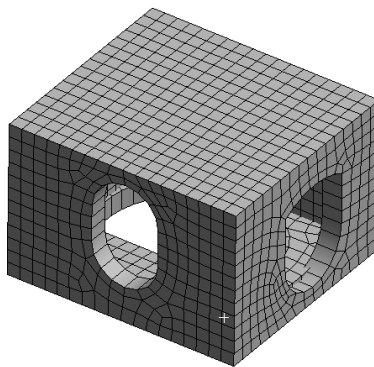
3.2 Tvorba sítě

K vytvoření sítě byly použity výhradně čtyřstěnné prvky, což v tomto případě vyhovuje zadanému konceptu.

Pro přehlednější tvorbu sítě došlo k rozdělení modelu na několik podskupin. Každé podskupině byla přiřazena jiná priorita tvorby konečnoprvkové sítě, určena podle typu namáhání součástí. Model byl rozdělen na pět podskupin.

3.2.1 Konečnoprvkový model rohového prvku

Rohový prvek přenáší veškerá vnější a vnitřní silové účinky soustavy. Proto při tvorbě jejího konečnoprvkového modelu bylo dbáno na detailní zasicování. Pro přesnější výsledky analýzy byla síť zjemněna desetimilimetrovým prvkem.

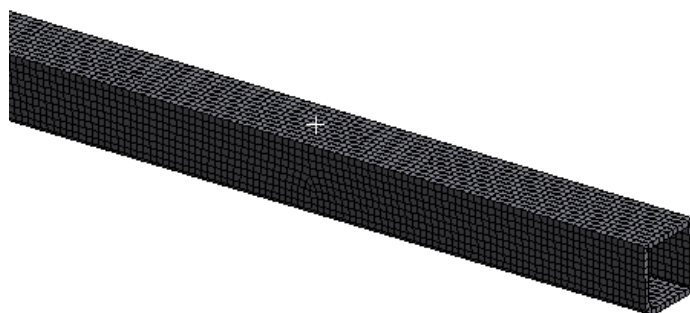


Obr. 3.2.1 – Konečnoprvkový model rohového prvku

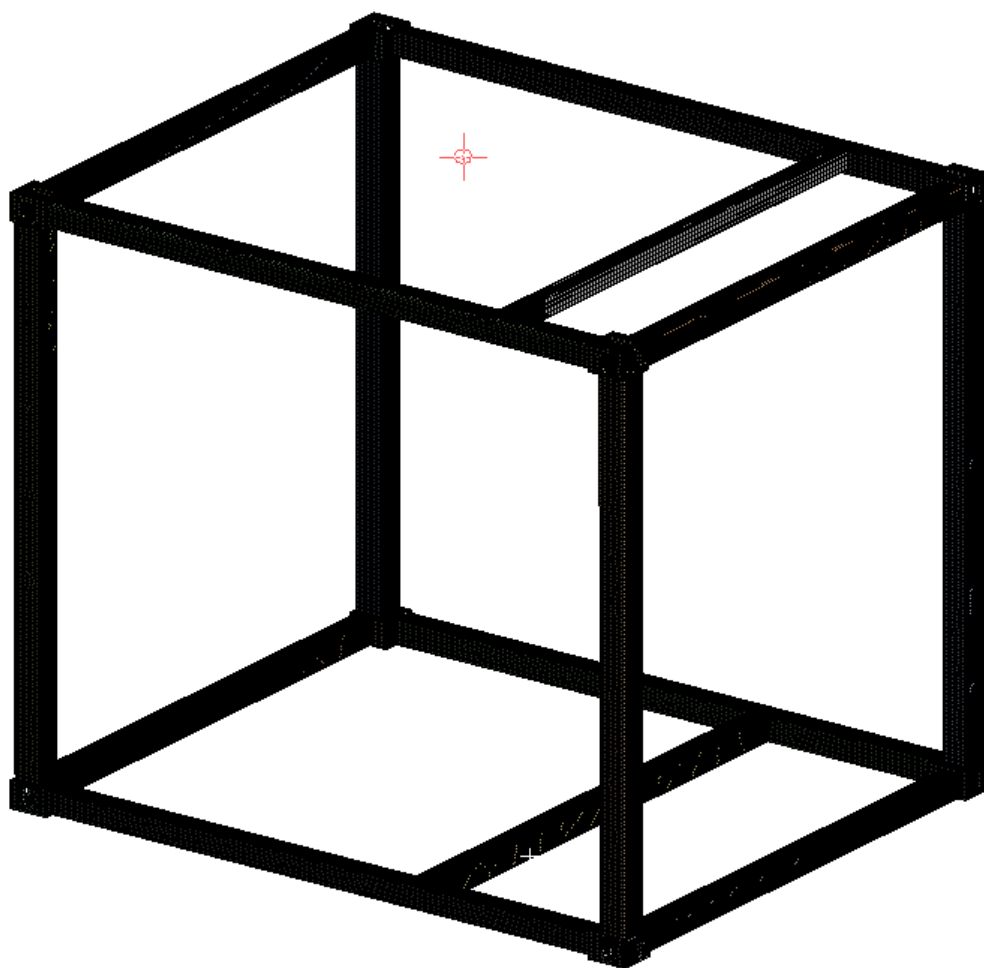
3.2.2 Konečnoprvkový model hlavní frémy

Další z řady důležitých podskupin je hlavní fréma. Fréma je tvořena nosníky čtvercového průřezu s rozměry 100x100 a 120x120. Nosníky jsou navzájem v rozích přivařeny k rohovému prvku. Nosníky s rozměry 100x100 tvoří základ a střechu, a nosníky 120x120 slouží jako stojiny. Ve výsledku v kombinaci s rohovým prvkem vzniká tvar podobný kostce.

Jelikož jsou nosníky hlavním nosným prvkem konstrukce, byl dán důraz na tvorbu konečnoprvkového modelu. Stejně jako v případě rohového prvku byla síť zjemněna na desetimilimetrové prvky.



Obr. 3.2.2.a – Konečnoprvkový model nosníku

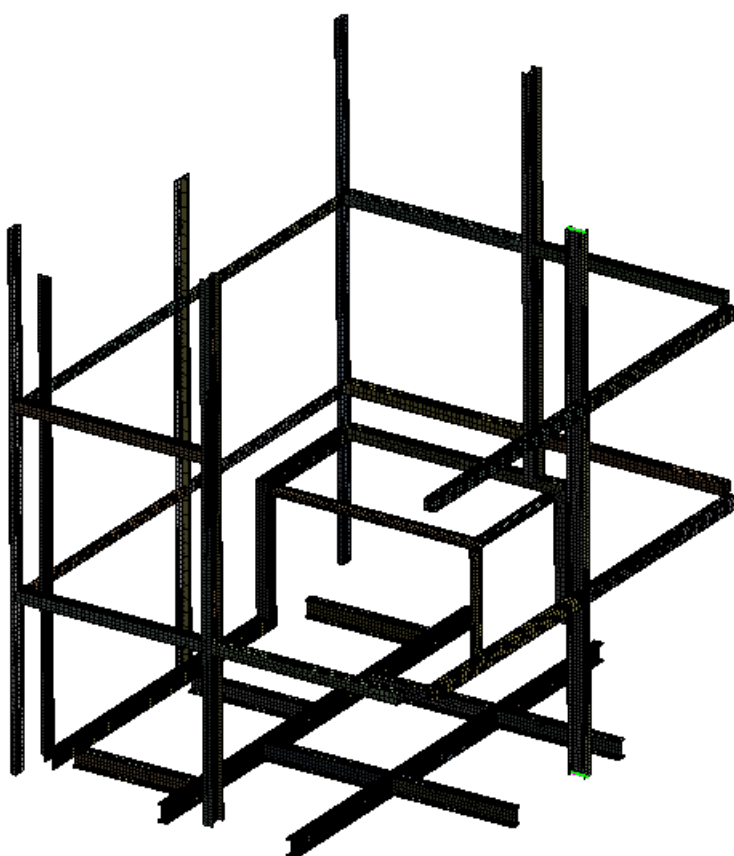


Obr. 3.2.2.b – Konečnoprvkový model hlavní frémy

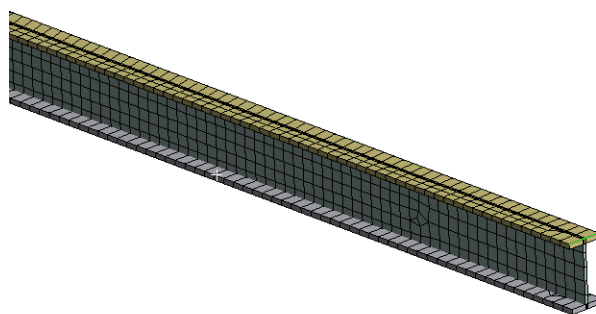
3.2.3 Konečnoprvkový model frény nádrže

K vyztužení nádrže je do sestavy přidána druhá podpurná fréma, která je přivařena k frémě hlavní. Fréma nádrže se skládá z menších čtvercových profilů 50x50, obdélníkových profilů 50x20, trubky s $\varnothing 48,3$ a profilu I 80.

Jelikož se předpokládá, že součásti této podskupiny budou vystaveny působícím silám hydrostatického tlaku, byl opět kladen důraz na jemnost prvků při tvorbě sítě. Obdélníkové a čtvercové profily byly vytvořeny elementy o velikosti dvacet milimetrů. Profil I80 byl vytvořen pomocí jemnějšího síťování patnácti milimetrů.



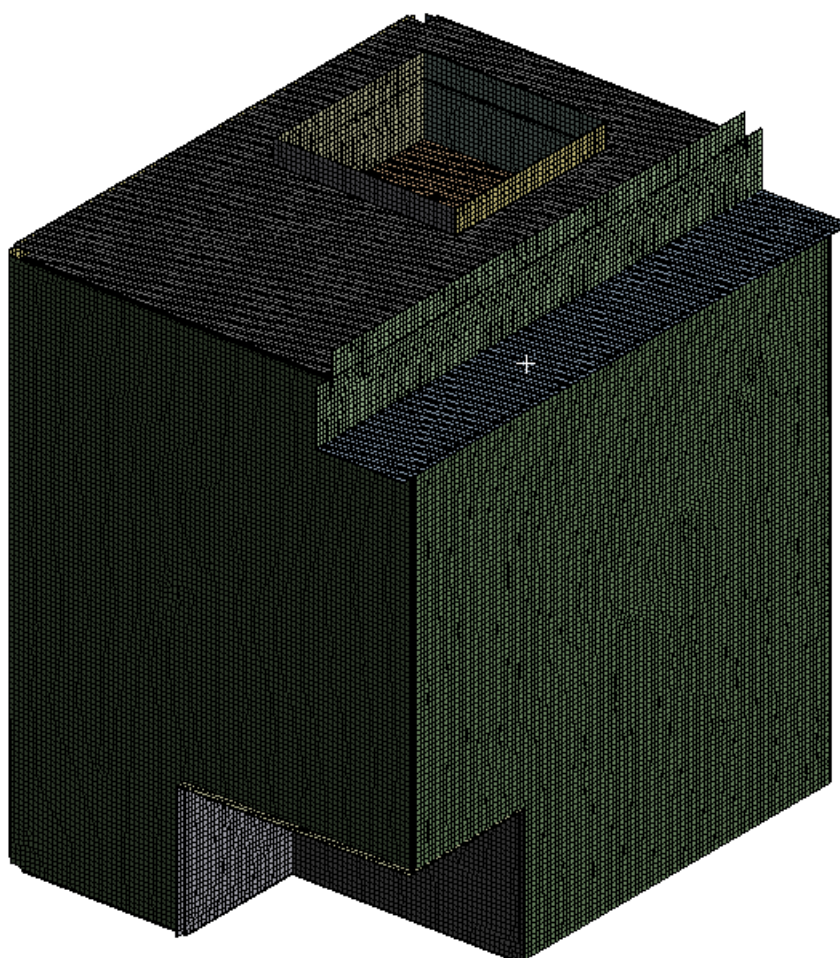
Obr. 3.2.3.a – Konečnoprvkový model celé frény nádrže



Obr. 3.2.3.b – Konečnoprvkový model profilu I80

3.2.4 Konečnoprvkový model vnitřního pláště nádrže

Na vnitřní plášť nádrže byla použita síť s velikosti elementů dvacet milimetrů. Takto jemná síť při použití na plošné součásti zajistí výstup přesnějších výsledků.



Obr. 3.2.4 – Kompletní opláštění vnitřní nádrže

3.2.5 Konečnoprvkový model vnitřních výztuh nádrže a vnějšího opláštění

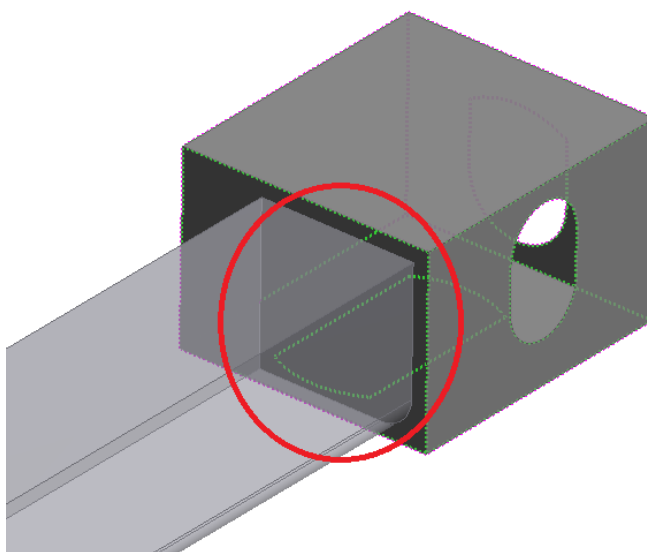
V poslední skupině jsou zahrnuty vnitřní výztuhy nádrže, pro které byla vytvořena síť s velikostí elementu dvacet milimetrů podobně jako u vnitřního opláštění, a vnější plášť stanice, pro který byla použita velikost elementu třicet milimetrů. Do této podskupiny jsou také zahrnuty plechy tvořící prostor pro elektroinstalaci.

3.3 Kontakty a sumarizace

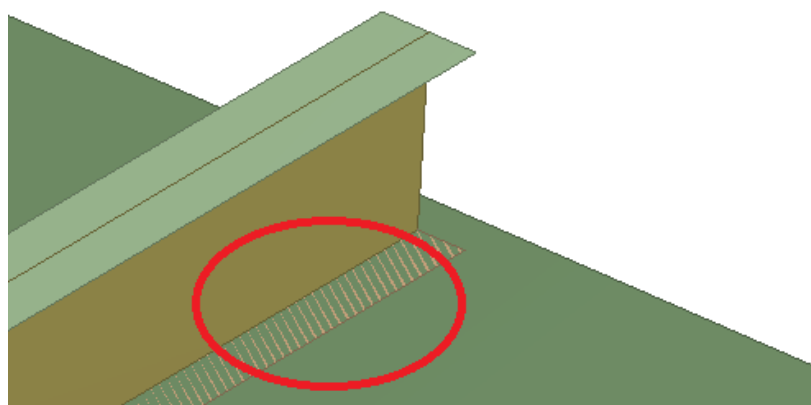
K vytvoření vazeb mezi jednotlivými součástmi byly použity kontakty typu *Bonded*. Dále byly kontakty rozděleny do dvou skupin, *Face to face*, kdy vzniká kontakt mezi dvěma souběžnými plochami, a *Face to edge*, kdy vzniká kontakt mezi hranou a plochou. Názorná ilustrace je zobrazena na *Obrázku 3.3.a* a *3.3.b*. Parametry úlohy jsou uvedeny v *Tabulce 3.3.c*.

Parametr úlohy	Hodnota
počet elementů	296709
počet uzlů	305773
kontakty Face to face	74
kontakty Face to edge	945

Tab. 3.3.c – Tabulka parametrů úlohy



Obr. 3.3.a – Příklad kontaktu Face to edge



Obr.3.3.b – Příklad kontaktu Face to face

4. Pevnostní kontrola

Úloha je řešená jako statická pevnostní analýza celé čerpací stanice. Pevnostní kontrola je provedena pro všechny domluvené zátěžné stavy.

4.1 Zatěžující síly

Soustava je namáhána několika typy sil. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.3 *Typy zátěže*, jedná se celkem o 3 druhy zátěže.

S důrazem na bezpečnost byly působící síly násobeny koeficienty bezpečnosti dle normy ČSN EN 1991-1-1: *Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Pro stálé zatížení byl použit součinitel zatížení $b_m = 1,35$. Stálým zatížením se definuje zatížení, které je při statické kontrole stálé, neměnné. Jedná se o působení tíhy vlastní konstrukce stanice, tedy o frémy, opláštění nádrže a technologické prvky. Pro proměnné (užitné) zatížení byl použit součinitel zatížení $b_z = 1,5$. Jedná se například o působení tíhové síly materiálu, jehož množství se může během provozu stanice změnit. V tomto případě je to kapalina uvnitř nádrže, jejíž objem není konstantní, a napadaný sníh na horní části nádrže.

$$P_s = 2,88 \text{ kPa (vertikální zatížení sněhem)}$$

$$P_k = 27,73 \text{ kPa (vertikální zatížení dna nádrže kapalinou)}$$

Pro určení působícího tlaku od zbytku kapaliny v nádrži bylo nejprve potřeba zjistit přibližnou výšku hladiny. Výrobce uvádí maximální dovolený objem kapalin při transportu 450l. Z této informace byla vypočtena přibližná výška kapaliny sto deset milimetrů.

$$P_{kz} = 1,7 \text{ kPa (vertikální zatížení dna nádrže zbytkem kapaliny)}$$

Soustava je ještě doplněna o chybějící hmotu elektronického panelu a technologických prvků odebranou při modelování geometrického modelu.

$$m_E = 305 \text{ kg (hmotnost elektronického panelu)}$$

$$m_T = 72 \text{ kg (hmotnost technologických prvků)}$$

4.2 Okrajové podmínky

Pro každý zátěžný stav jsou definované vlastní okrajové podmínky. Předběžný návrh je zmíněn v kapitole 2.2 *Zátěžné stavy*.

4.2.1 Okrajové podmínky I. zátěžného stavu

V prvním zátěžném stavu jsou okrajové podmínky nastavené pro výpočet stojící nezátížené stanice. Stanice je ukotvená v dolních rohových prvcích (B, C, D, E), kterým jsou postupně odebírány stupně volnosti pohybu ve směrech os x, y a z. Na sestavu působí tíhové zrychlení (A) a doplněné hmoty m_E (H) a m_T (G). Přesný popis okrajových podmínek je zaznačen na *Obr. 4.2.1*.

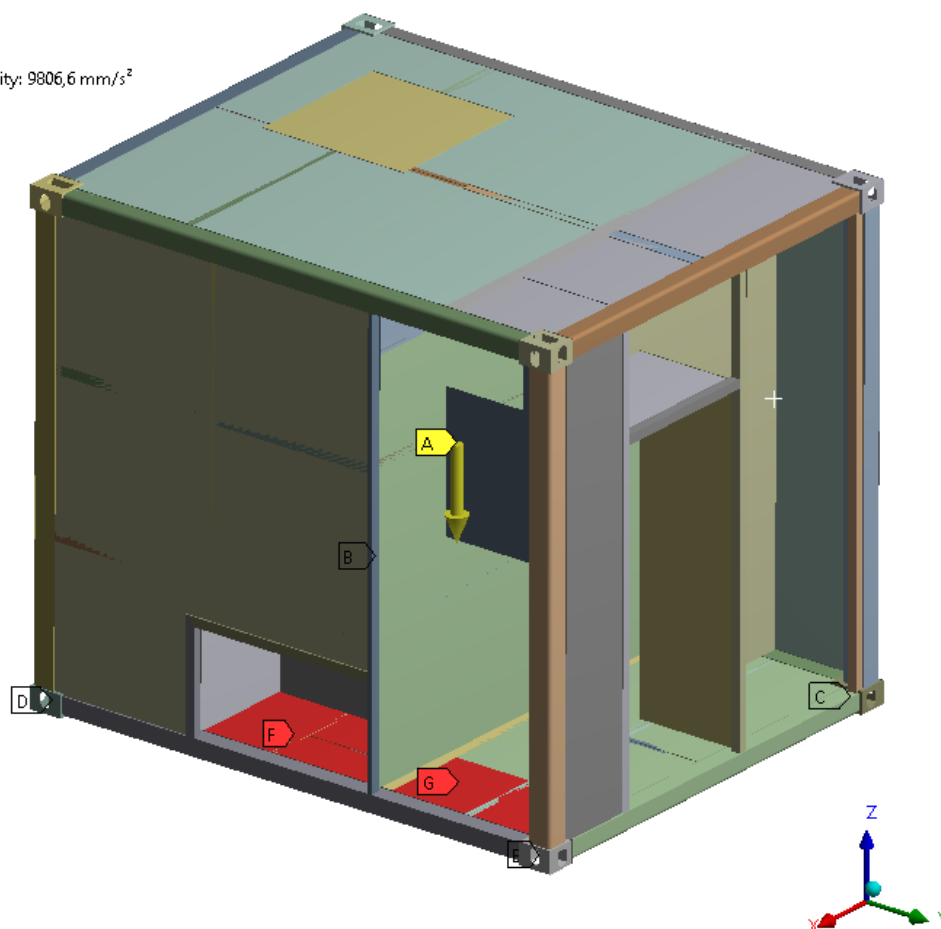
F: frema_nezatizena_uprava

Static Structural

Time: 1, s

10.05.2016 0:54

- A Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- B Displacement
- C Displacement 2
- D Displacement 3
- E Displacement 4
- F Distributed Mass
- G Distributed Mass 2



Obr. 4.2.1 – Okrajové podmínky I. Zátěžného stavu

4.2.2 Okrajové podmínky II. zátěžného stavu

Ve druhém zátěžném stavu jsou okrajové podmínky doplněny o působení zátěžných sil od hydrostatického tlaku uvnitř nádrže (bod F, viz. *Obr. 4.2.2.b*). Volná hladina je ve výšce 2243 mm ode dna nádrže. Také bylo doplněno působení tíhy sněhu na střeše nádrže (bod G). Přesný popis okrajových podmínek je zaznačen na *Obr. 4.2.2.a*.

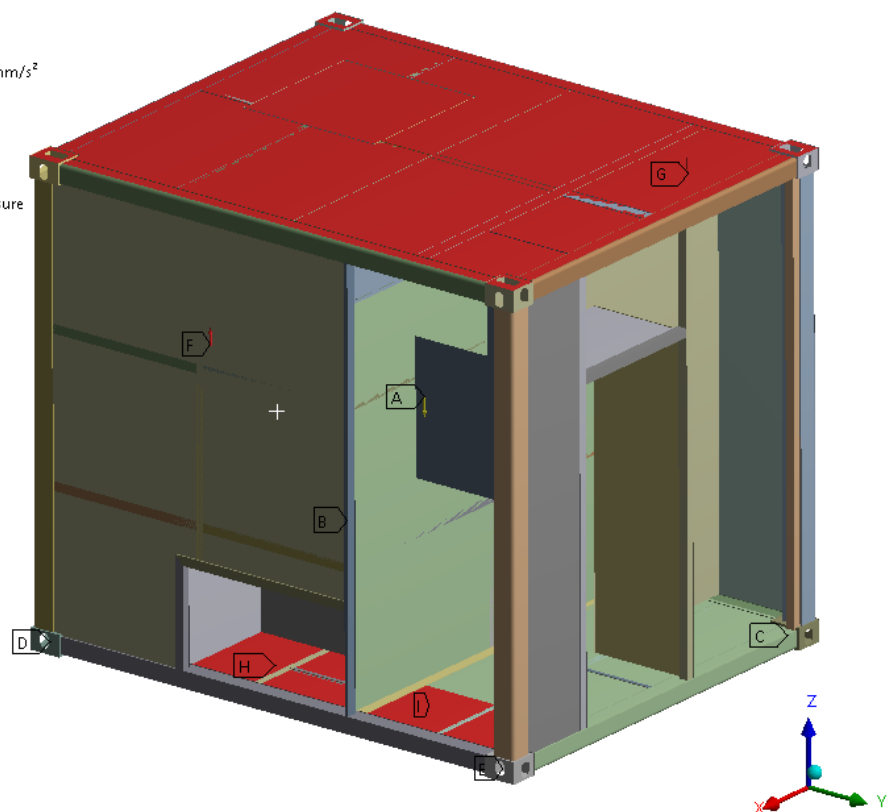
B: frema_zatřžená_max

Static Structural

Time: 1, s

10.05.2016 1:05

- A** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- B** Displacement
- C** Displacement 2
- D** Displacement 3
- E** Displacement 4
- F** Variable Load: Hydrostatic Pressure
- G** Pressure: 2,88e-003 MPa
- H** Distributed Mass
- I** Distributed Mass 2



Obr. 4.2.2.a – Okrajové podmínky II. Zátěžného stavu

B: frema_zatřžená_max

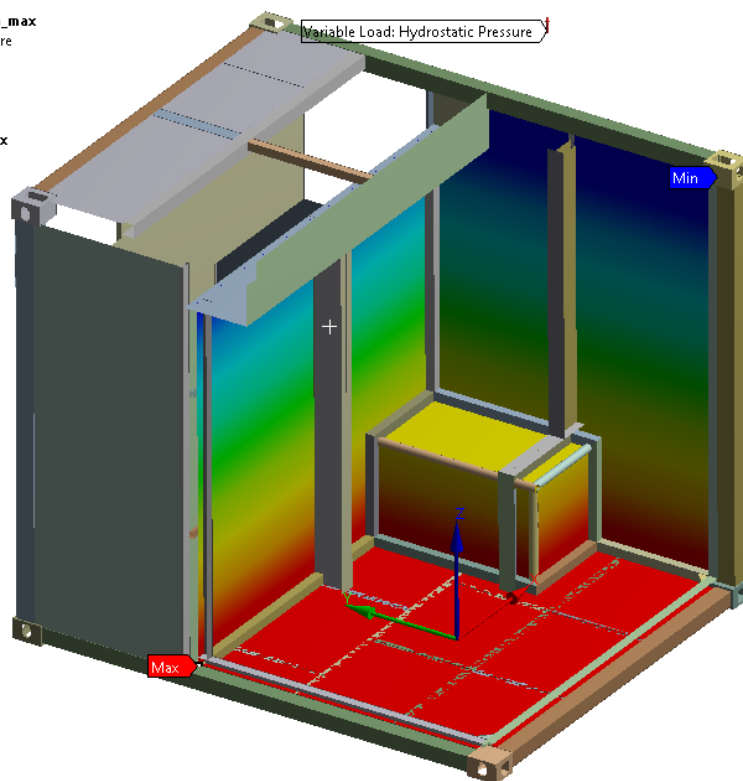
Hydrostatic Pressure

Time: 1, s

Unit: MPa

09.05.2016 22:34

- 0,027726 Max**
- 0,024645
- 0,021564
- 0,018484
- 0,015403
- 0,012323
- 0,0092419
- 0,0061613
- 0,0030806
- 0 Min**



Obr. 4.2.2.b – Hydrostatický tlak uvnitř nádrže

4.2.3 Okrajové podmínky III. zátěžného stavu

Ve třetím zátěžném stavu jsou okrajové podmínky nastavené pro výpočet visící nezatížené soustavy. Stanice je ukotvená ve čtyřech horních rohových prvcích (D), kterým jsou odebrány veškeré stupně volnosti. Na sestavu jako v předchozích stavech působí tíhové zrychlení (A) a doplněné hmoty m_E (C) a m_T (B). Přesný popis okrajových podmínek je zaznačen na *Obr. 4.2.3*.

G: frema_visici_nezatizena_uprava

Static Structural

Time: 1, s

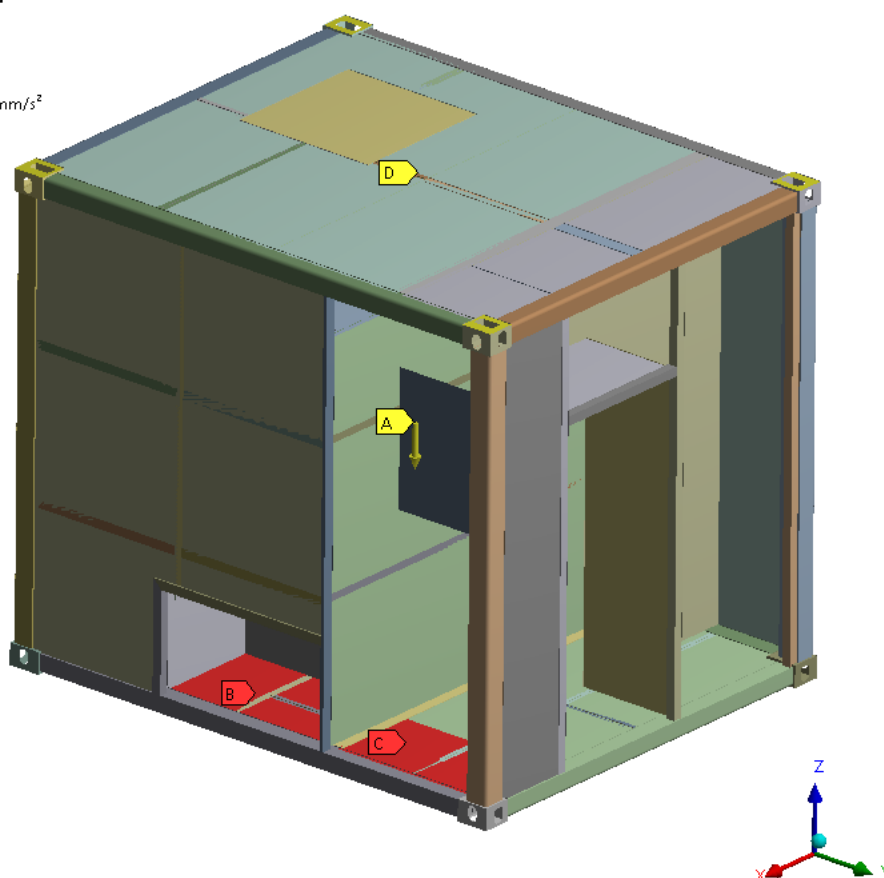
10.05.2016 0:54

A Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²

B Distributed Mass

C Distributed Mass 2

D Remote Displacement 1



Obr. 4.2.3 –Okrajové podmínky III. Zátěžného stavu

4.2.4 Okrajové podmínky IV. zátěžného stavu

Ve čtvrtém zátěžném stavu jsou okrajové podmínky doplněny o působení zátěžných sil od hydrostatického tlaku uvnitř nádrže (bod B, viz. *Obr. 4.2.4.b*). Výška volné hladiny byla nastavena na 250 mm ode dna nádrže. Přesný popis okrajových podmínek je zaznačen na *Obr. 4.2.4.a*.

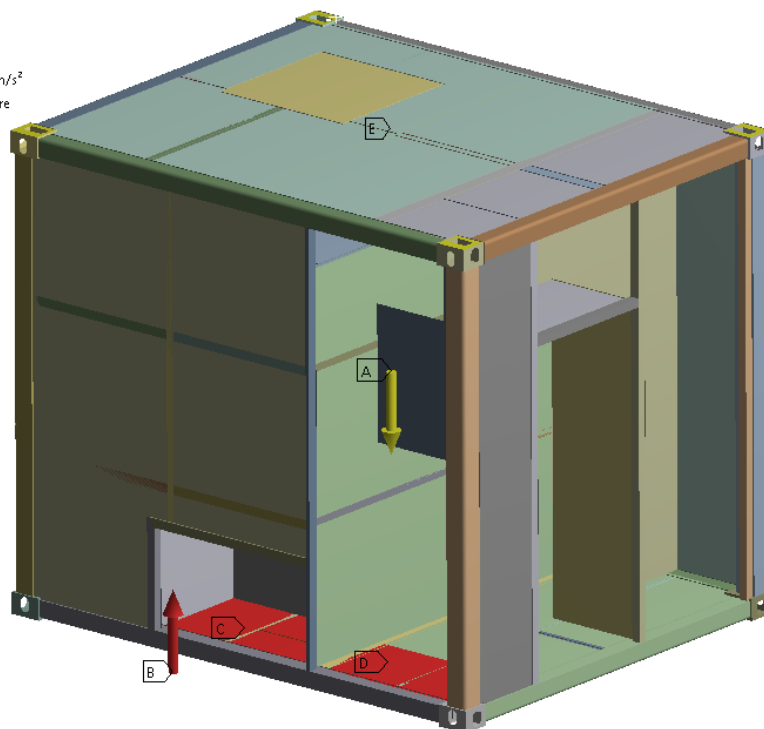
H: frema_visici_poloplna_uprava

Static Structural

Time: 1, s

10.05.2016 0:42

- A Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- B Variable Load: Hydrostatic Pressure
- C Distributed Mass
- D Distributed Mass 2
- E Remote Displacement



Obr. 4.2.4.a – Okrajové podmínky III. Zátěžného stavu

H: frema_visici_poloplna_uprava

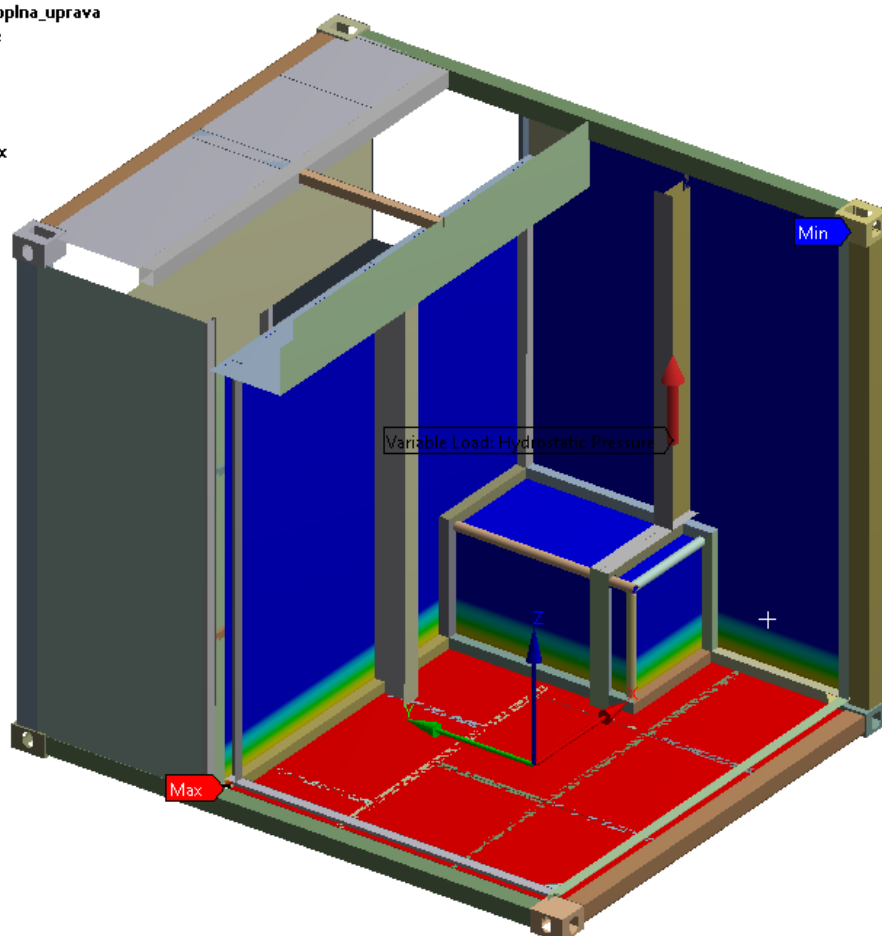
Hydrostatic Pressure

Time: 1, s

Unit: MPa

10.05.2016 1:23

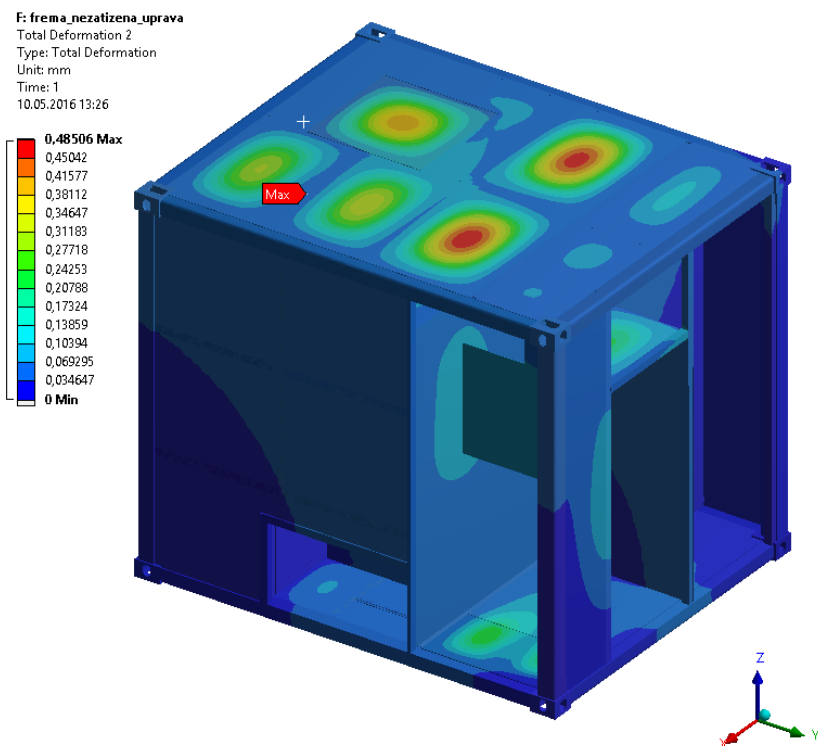
- 0,0030902 Max
- 0,0027469
- 0,0024035
- 0,0020602
- 0,0017168
- 0,0013734
- 0,0010301
- 0,00068672
- 0,00034336
- 0 Min



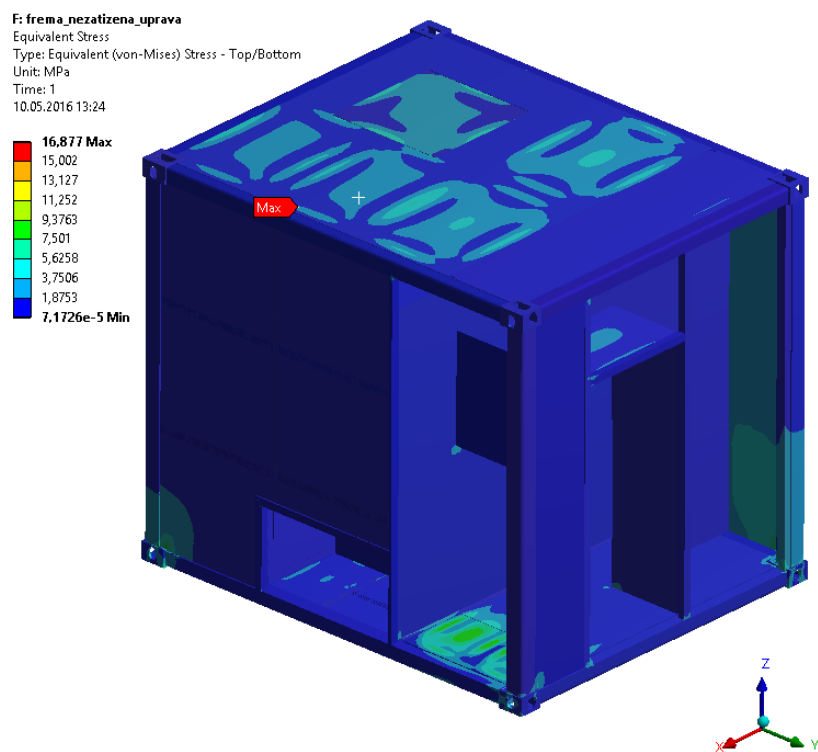
Obr. 4.2.4.b – Hydrostatický tlak uvnitř nádrže

4.3 Výsledky analýz

4.3.1 I. zátěžný stav



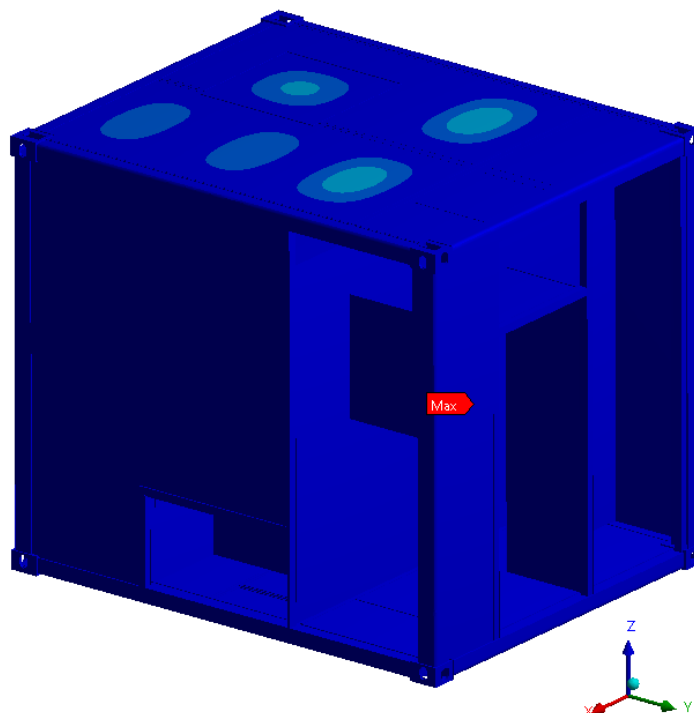
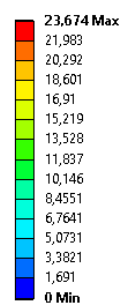
Obr. 4.3.1.a – Mapa deformací



Obr. 4.3.1.b – Mapa napětí

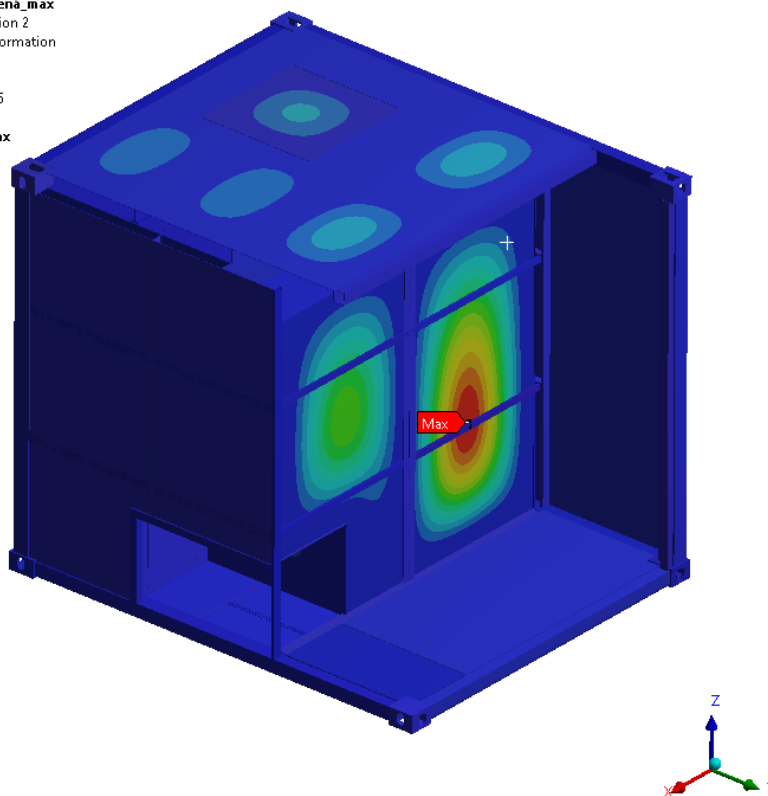
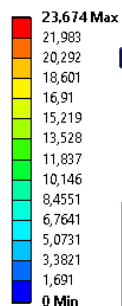
4.3.2 II. zátěžný stav

B: frema_zatížená_max
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
10.05.2016 13:29

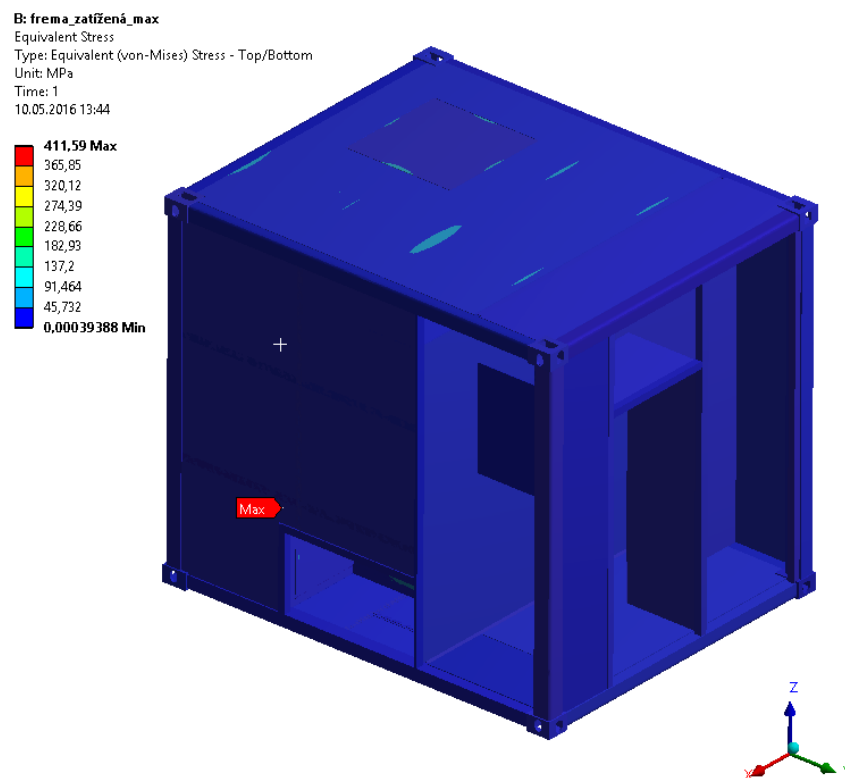


Obr. 4.3.2.a – Mapa deformací

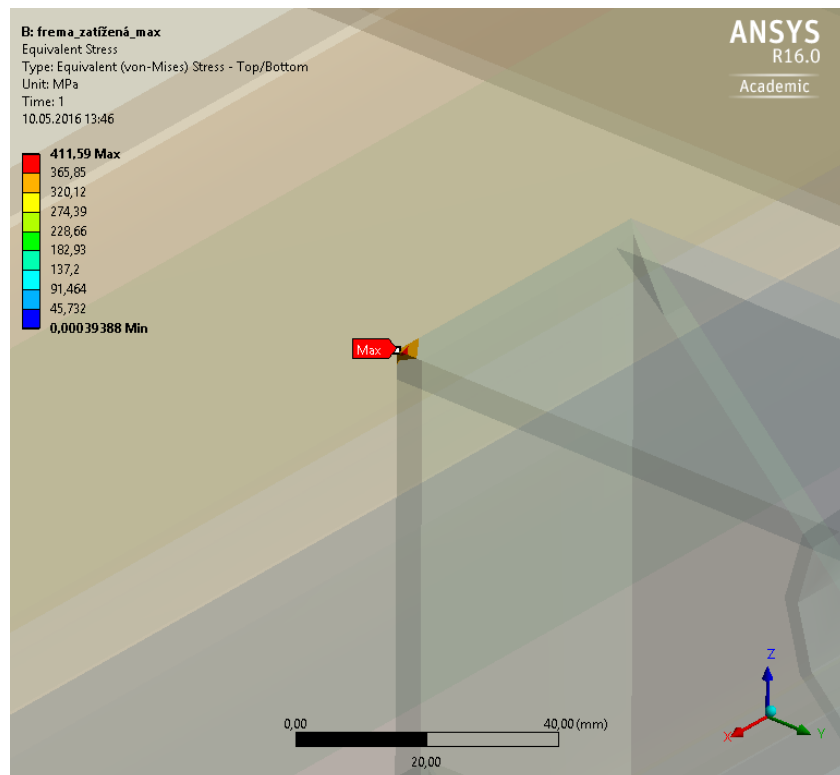
B: frema_zatížená_max
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
10.05.2016 13:36



Obr. 4.3.2.b – Mapa deformací – maximální deformace



Obr. 4.3.2.c – Mapa napětí



Obr. 4.3.2.d – Mapa napětí – filtrovaná oblast

B: frema_zatížená_max

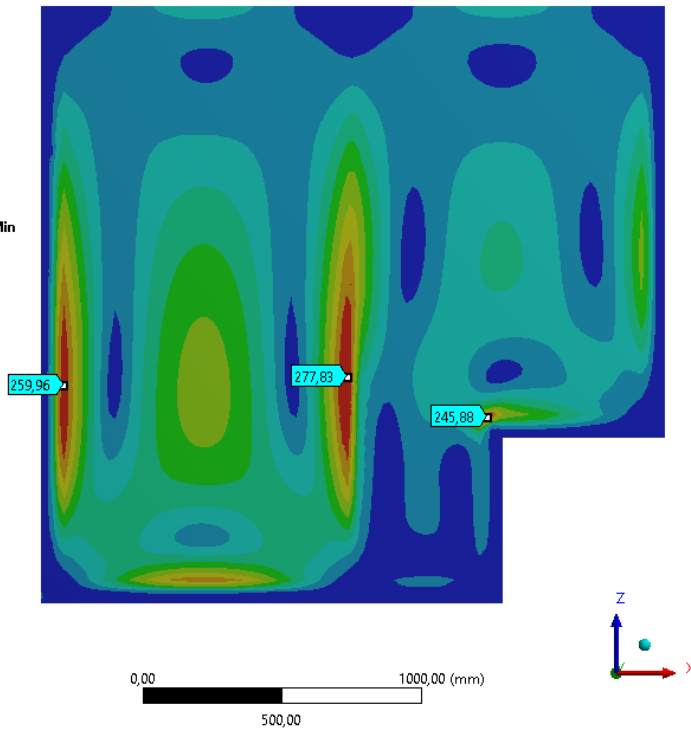
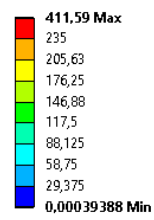
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

11.05.2016 12:28



Obr. 4.3.2.e – Mapa napětí vnitřního opláštění nádrže

B: frema_zatížená_max

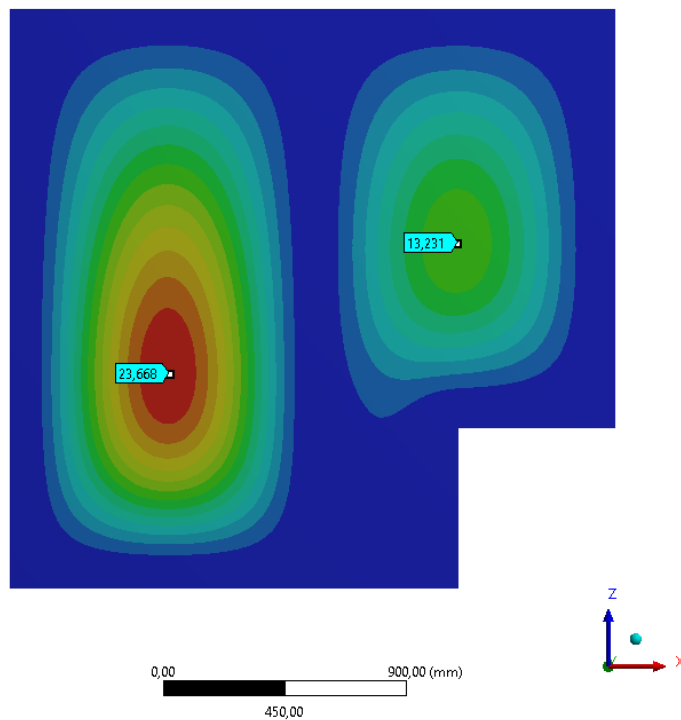
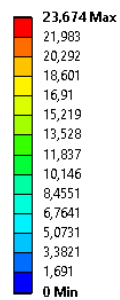
Total Deformation 2

Type: Total Deformation

Unit: mm

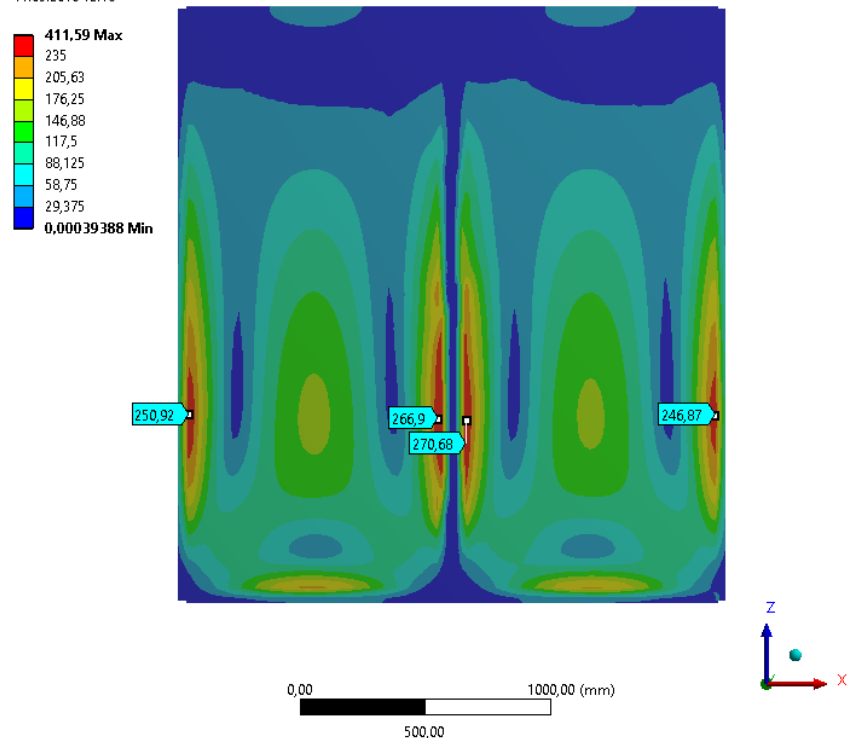
Time: 1

11.05.2016 13:49



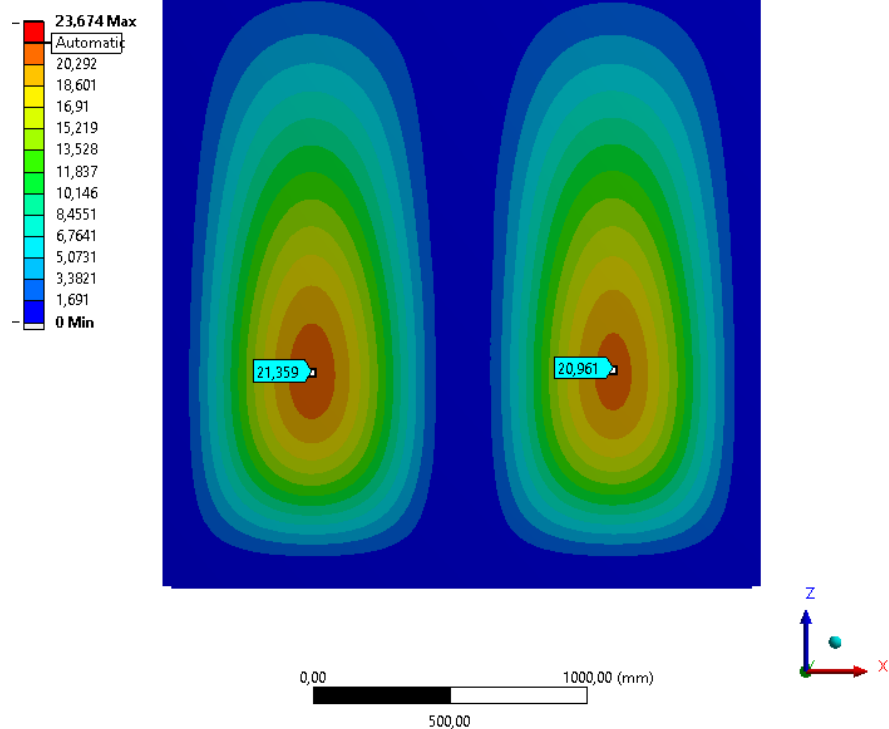
Obr. 4.3.2.f – Mapa deformací vnitřního opláštění nádrže

B: frema_zatizená_max
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 11.05.2016 12:18



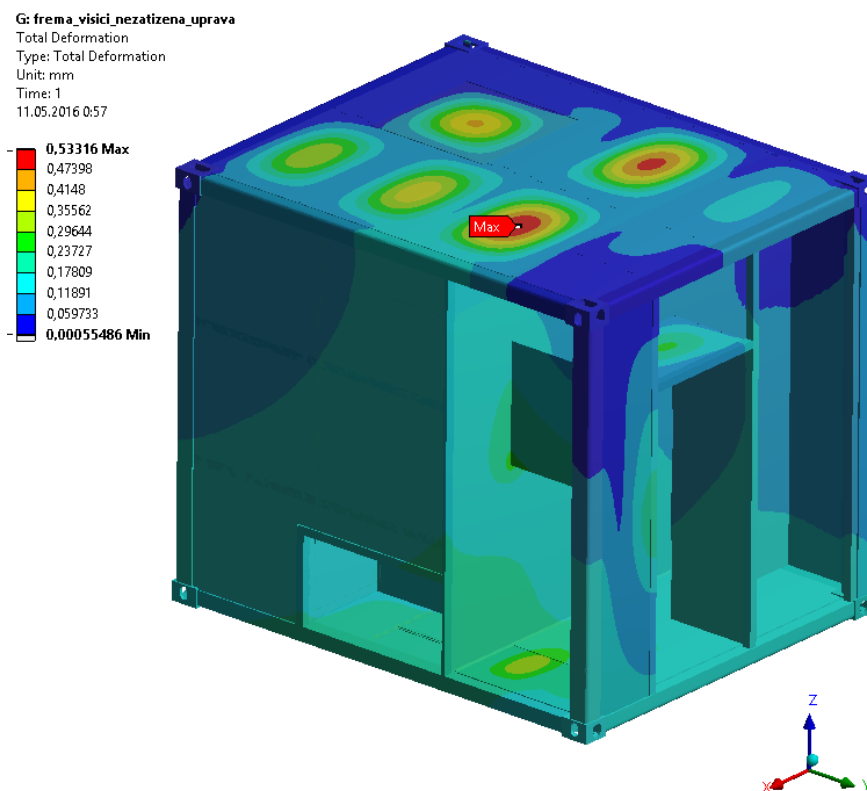
Obr. 4.3.2.g – Mapa napětí vnitřního opláštění nádrže – protější strana

B: frema_zatizená_max
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11.05.2016 13:47

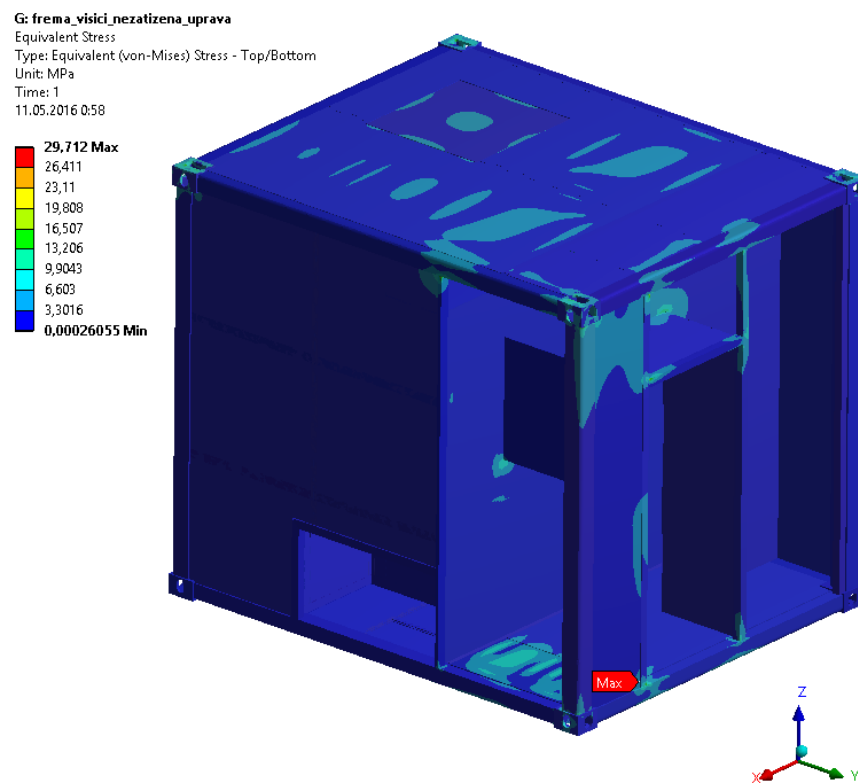


Obr. 4.3.2.h – Mapa deformací opláštění nádrže – protější strana

4.3.3 III. zátěžný stav



Obr. 4.3.3.a – Mapa deformací

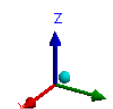
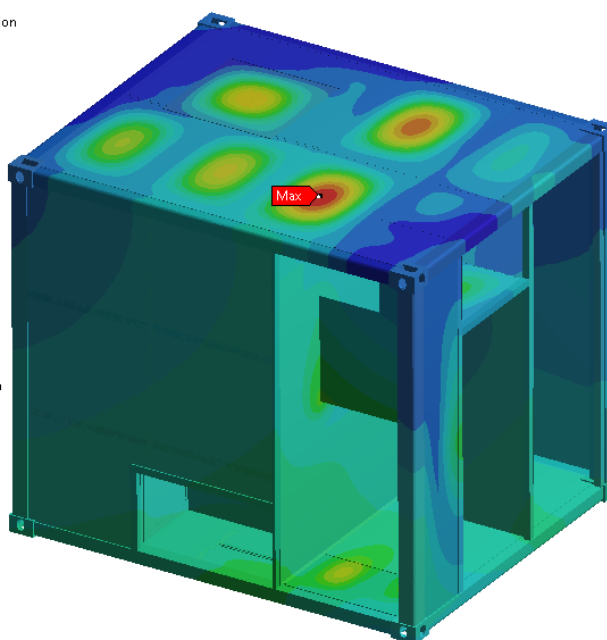


Obr. 4.3.3.b – Mapa napětí

4.3.4 IV. zátěžný stav

H: frema_visici_poloplna_uprava
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
11.05.2016 0:36

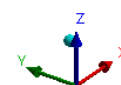
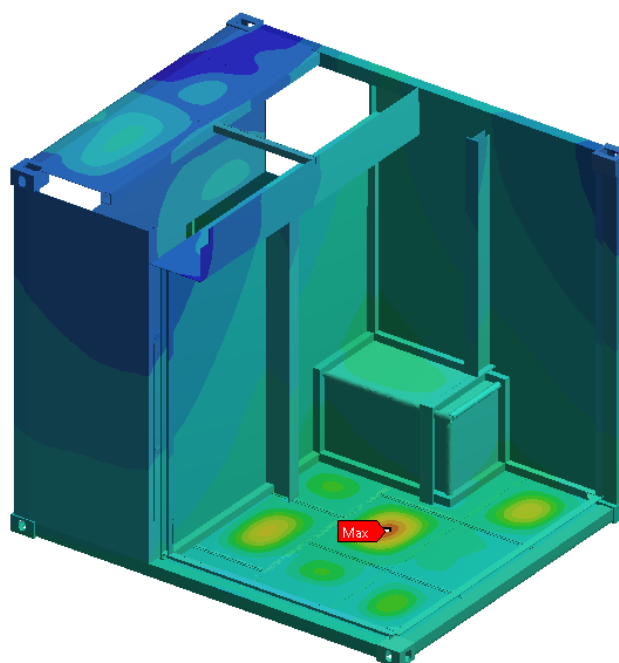
0,54805 Max
0,50892
0,46979
0,43066
0,39153
0,35241
0,31328
0,27415
0,23502
0,19589
0,15676
0,11764
0,078508
0,039379
0,00025096 Min



Obr. 4.3.4.a – Mapa deformací

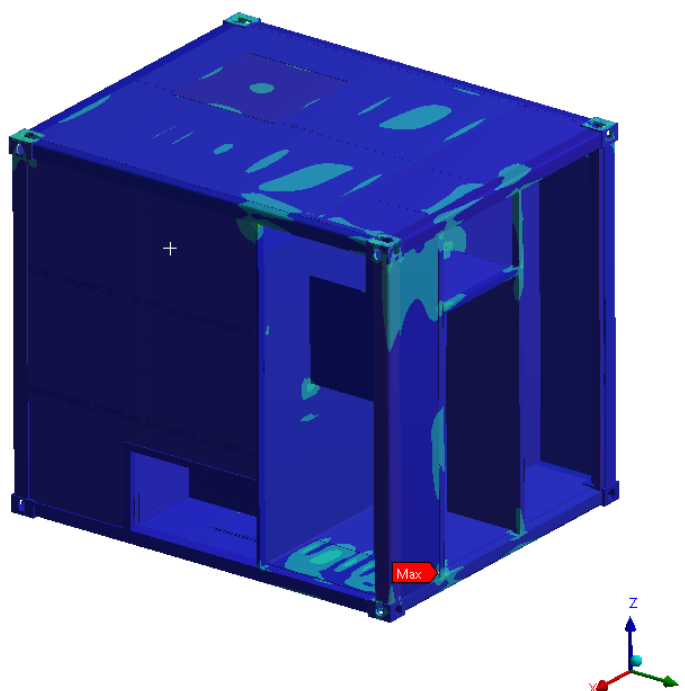
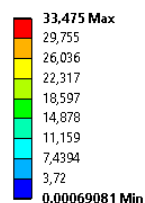
H: frema_visici_poloplna_uprava
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
11.05.2016 0:35

0,54805 Max
0,50892
0,46979
0,43066
0,39153
0,35241
0,31328
0,27415
0,23502
0,19589
0,15676
0,11764
0,078508
0,039379
0,00025096 Min



Obr. 4.3.4.b – Mapa deformací vnitřku nádrže

H: frema_visici_poloplna_uprava
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 11.05.2016 0:37



Obr. 4.3.4.c – Mapa napětí

4.4 Shrnutí výsledků

Po provedení analýz a kontrole výsledků bylo zjištěno, že při druhém zátěžném stavu v jedné z výztuh vnitřního opláštění dosáhne napětí hodnoty 411,59 MPa. V soustavě bylo provedeno odfiltrování napětí nižších než 235 MPa, výsledek je zobrazen na Obr. 4.3.2.d. V konečném výsledku dojde pouze k místnímu otlačení materiálu a jeho plastické deformaci. Vzniklé napětí nepřesáhnou mez pevnosti 500 MPa.

Další problém, který se vyskytl při analýze druhého zátěžného stavu, byl průhyb vnitřního opláštění v důsledku působení hydrostatického tlaku na nádrž. Průhyb dosáhl hodnoty 23,674 mm. Pro větší bezpečnost kontroly bylo provedeno bližší prozkoumání napěťové mapy exponované součásti (Obr. 4.3.2.e), a protější součásti opláštění (Obr. 4.3.2.g). V určitých místech napětí překračovalo mez kluzu, místa jsou vyznačena na Obr. 4.3.2.f a Obr. 4.3.2.h. Tento výsledek je považován za krajně nepříznivý v důsledku plastické deformace vnitřního opláštění a snížení integrity a pevnosti nádrže. Možné řešení je provedeno v kapitole 5. *Optimalizace*.

Při analýze prvního, třetího a čtvrtého zátěžného stavu nebyly překročeny meze kluzu ani nedošlo k žádným znatelným deformacím. Pro celkovou přehlednost jsou hodnoty uvedeny v *Tabulce 4.4*.

Tabulka maximálních hodnot deformací a napětí				
Zátěžný stav	I.	II.	III.	IV.
Napětí [MPa]	16,88	411,59	29,71	33,48
Deformace [mm]	0,485	23,674	0,533	0,548

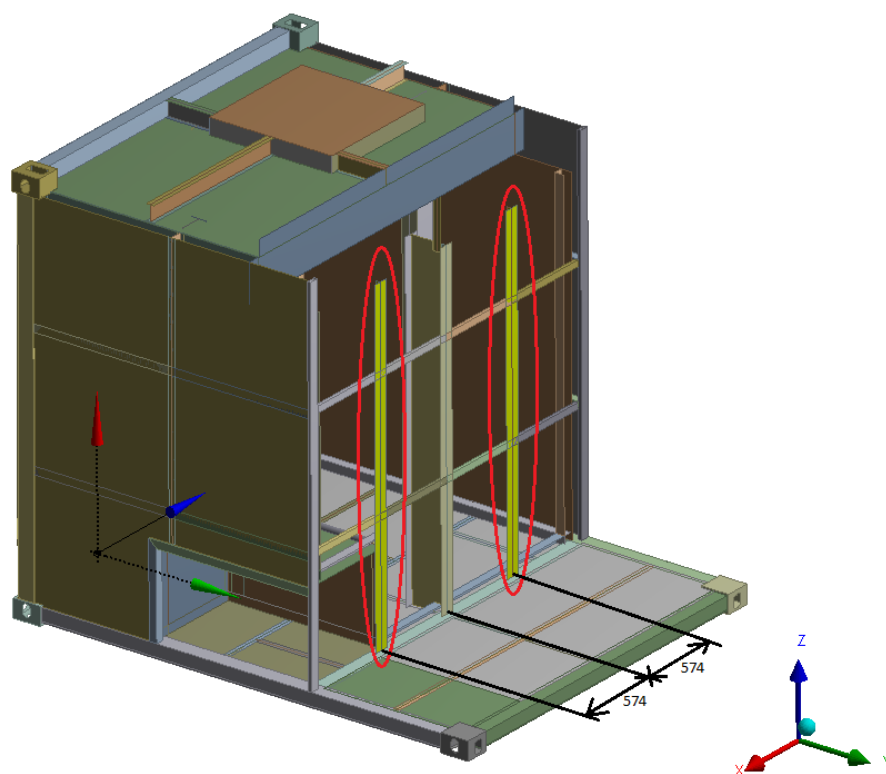
Tab. 4.4 – Přehled hodnot deformací a napětí

5. Optimalizace

5.1 Vyztužení

Při optimalizaci modelu došlo k menší úpravě vnitřní frémy nádrže. Fréma byla vyztužena s cílem zabránit tak velké deformaci vnitřního opláštění nádrže a snížit napětí v exponované součásti. Přidané výztuhy jsou vyznačeny na *Obr. 5.1.a* a *Obr. 5.1.b*. Jednou z podmínek úprav byla její proveditelnost a nízká finanční nákladnost.

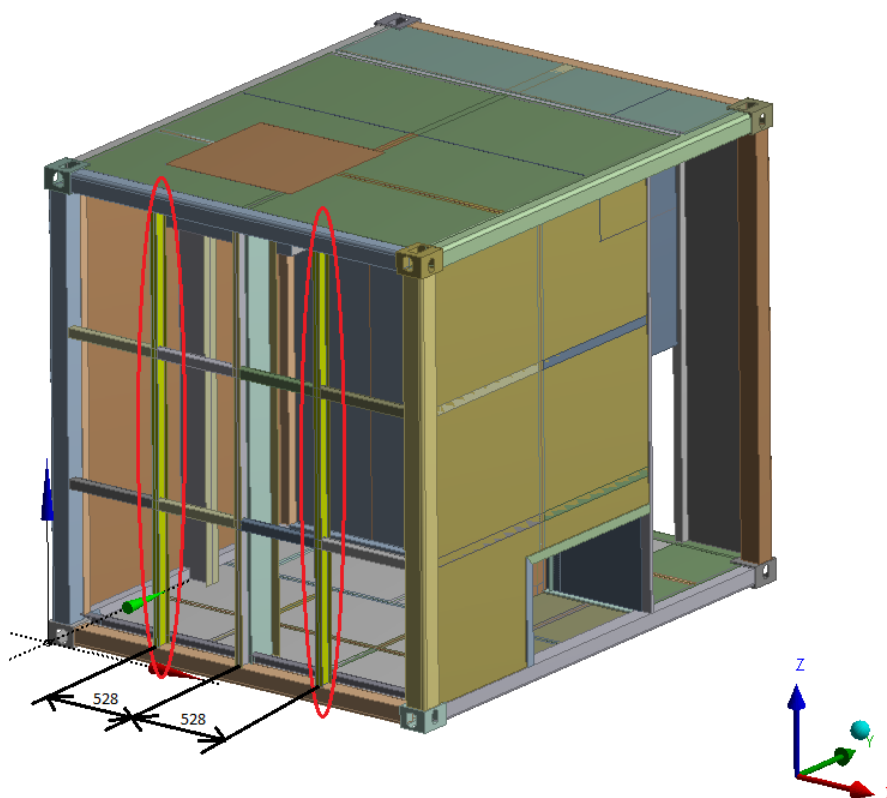
Pro vyztužení byly použity stejné původní prvky vnějšího opláštění. Parametry úlohy jsou uvedeny v *Tabulce 5.1*.



Obr. 5.1.a – Přidané výztužné prvky

Parametr úlohy	Hodnota
počet elementů	307859
počet uzlů	317665
kontakty Face to face	96
kontakty Face to edge	1077

Tab. 5.1 – Parametry úlohy



Obr. 5.1.b – Přidané výztužné prvky

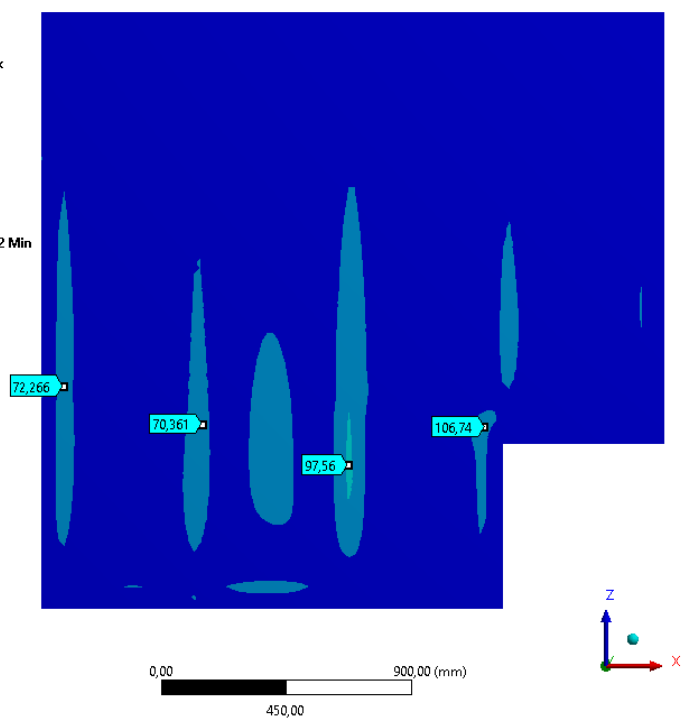
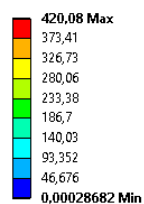
5.2 Výsledky po úpravě

Po úpravě vnější frémy byla provedena kompletní analýza celé sestavy. Byla zkontrolována deformace a napěťové stavy exponovaných součástí soustavy. Cílem bylo snížit hodnotu 278 MPa přinejmenším na mez kluzu 235 MPa. Také bylo cílem snížit deformace opláštění. Pro přehlednost jsou napětí a deformace uvedeny v *Tabulce 5.2*. Napěťové mapy a deformace jsou uvedeny na *Obr.5.2.a - d*.

	Exponovaná součást	Protější součást
Původní napětí [MPa]	277,83	270,68
Napětí po úpravě [MPa]	97,56	65,34
Původní deformace [mm]	23,674	21,359
Deformace po úpravě [mm]	3,17	1,35

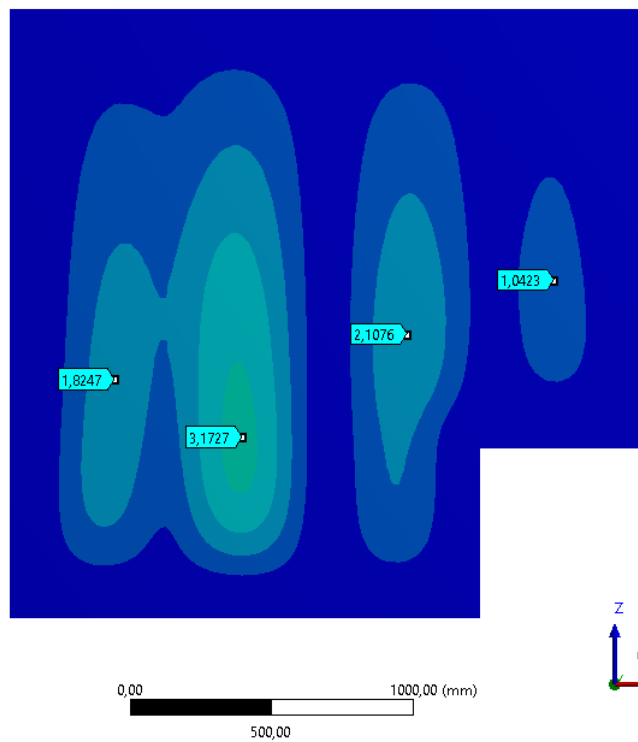
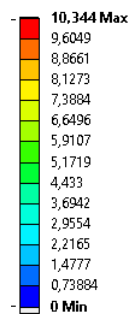
Tab. 5.2 – Porovnání původních a nových hodnot

I: Optimalizovaný
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 11.05.2016 13:11



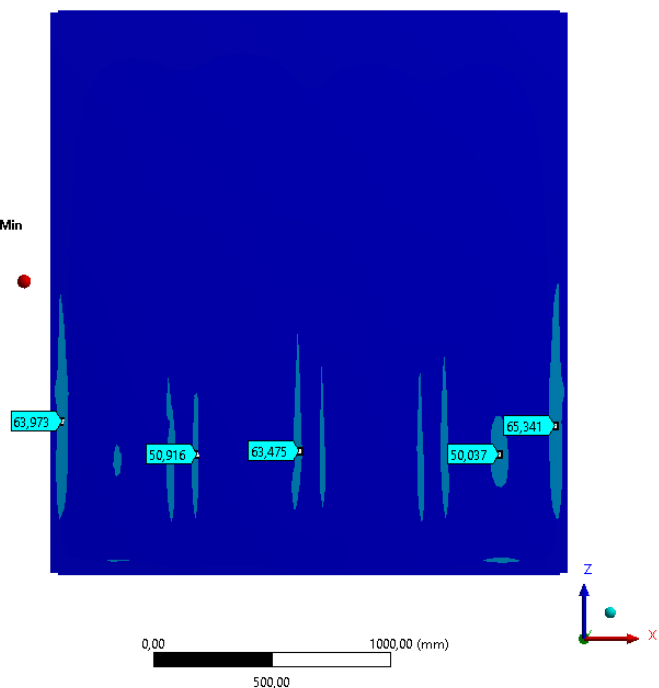
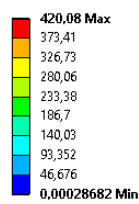
Obr. 5.2.a – Napěťová mapa exponované součásti po úpravě

I: Optimalizovaný
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11.05.2016 13:15



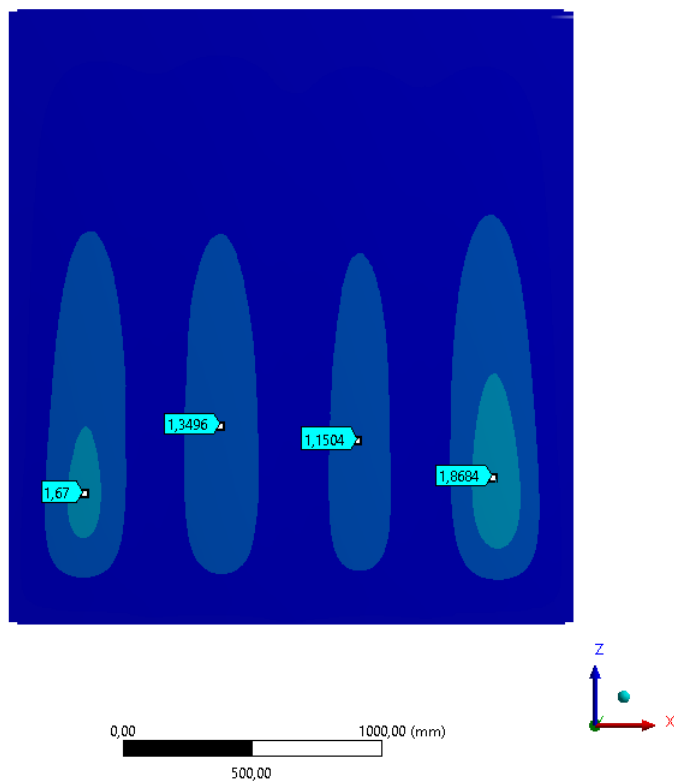
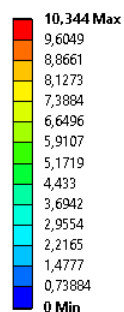
Obr. 5.2.b – Mapa deformací exponované součásti po úpravě

I: Optimalizovaný
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 11.05.2016 13:14



Obr. 5.2.c - Napětová mapa protější součásti

I: Optimalizovaný
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11.05.2016 13:16



Obr. 5.2.d – Mapa deformací protější součásti

6. Vyhodnocení a závěr

Předmětem bakalářské práce bylo provést statický výpočet přemístitelné čerpací stanice. V úvodu byla krátce zmíněna firma PETROCard Czech a její působnost v České republice a zahraničí. V první kapitole je provedeno seznámení s přemístitelnou čerpací stanicí, doplněné o přehled nabídky doplňků.

V druhé kapitole byla provedena diskuze možných mechanických namáhání a zátěžných stavů. Je zde taky zmíněn použitý materiál na konstrukci čerpací stanice a materiál skladovaný v nádržích. Firmou byly zadány celkem čtyři zátěžné stavy, pro které byl proveden výpočet. Zátěžné stavy byly zvoleny na základě empirických zkušeností a znalostí s předpokladem větších napěťových stavů a deformací. Pro tyto stavy byly vytvořeny odpovídající okrajové podmínky.

Ve třetí kapitole byly vytvořeny pomocí metody konečných prvků odpovídající modely použité k výpočtu v zátěžných stavech. Sestava byla rozdělena do několika základních podsestav, kterým byla přiřazena priorita důležitosti tvorby sítě podle předpokládaného zatížení. K modelaci byl použit program ANSYS Design Modeler a ANSYS Mechanical. Na celý model upravené čerpací stanice bylo použito 296 709 elementů a 305 773 uzlů. Vytvořený model je součástí přílohy.

Ve čtvrté kapitole byla provedena statická analýza jednotlivých zátěžných stavů a zhodnocení jejich výstupů. Problematickým se projevil druhý zátěžný stav, kdy byla konstrukce namáhána maximálním zatížením. Došlo zde k překročení meze kluzu a nadměrným deformacím vnitřního opláštění nádrže. Toto může mít za následek snížení integrity a pevnosti nádrže.

V páté kapitole byla provedena diskuze optimalizace nepříznivých výsledků, což v tomto případě odpovídá druhému zátěžnému stavu. Jedním z řešení problému bylo navrhnutí vyztužení vnější frémy nádrže. Cílem bylo snížení napětí a deformací ve zkoumaných součástech s podmínkou nízkých finančních nákladů a jednoduchého technologického postupu. Došlo k vytvoření upraveného modelu a následné analýze. Výsledkem bylo značné snížení napětí a deformací.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Porubovi, Ph.D, bez jehož cenných rad a odborných připomínek bych nebyl schopen dokončit svou bakalářskou práci, a za jeho ochotu nás ve svém volném čase uvést do problematiky modelování. Také bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Maršálkovi, který mě upozornil na možné chyby při prezentaci mé bakalářské práce.

7. Přehled použité literatury a zdrojů

[1] *Norma ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*

[2] *Norma ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*

[3] LEINVEBER, Jiří, Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Vyd. 5. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.

[4] *ANSYS® Academic Teaching Advanced, Release 14.5m help system, ANSYS, Inc.*

8. Zvláštní přílohy

1. Elektronický nosič DVD

- text bakalářské práce
- výpočetní soubor programu ANSYS Workbench 16.0